1993-95

PRIORITÉS ET PROGRÈS
ACCOMPLIS DANS LE CADRE DE
L'ACCORD SUR LA QUALITÉ DE L'EAU DANS LES GRANDS LACS

AOÛT 1995

ISBN 1-895085-84-5

IMPRIMÉ SUR LE PAPIER
RECYCLÉ, SANS CHLORE

Commission mixte internationale
International Joint Commission

TABLE DE MATIÈRES

SOMMAIRE DES PRIORITÉS 3

INTRODUCTION 1

CONSEIL DE LA QUALITÉ DE L'EAU DES GRANDS LACS 17

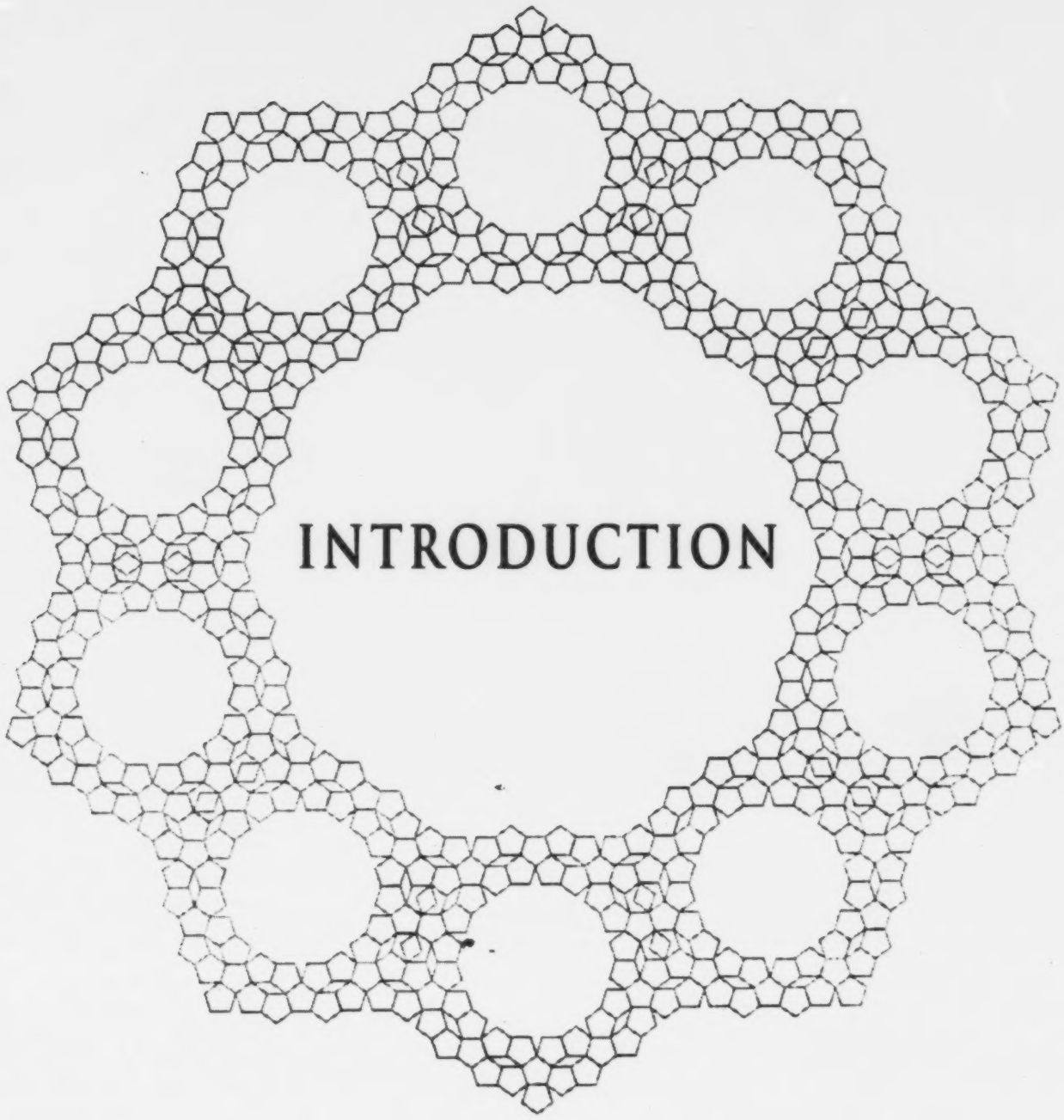
LE CONSEIL CONSULTIF SCIENTIFIQUE DES GRANDS LACS 63

CONSEIL DES GESTIONNAIRES DE LA RECHERCHE DES GRANDS LACS 137

GROUPE DE TRAVAIL SUR LE LAC ÉRIÉ 163

GROUPE DE TRAVAIL SUR LES INDICATEURS POUR L'ÉVALUATION 177

ACTIVITÉS D'EXAMEN DE L'ANNEXE 2 181



INTRODUCTION

On trouvera dans ce rapport des éléments d'information sur les questions que la Commission mixte internationale a choisi de régler en priorité pendant l'exercice biennal 1993-1995. Divers groupes avaient reçu la responsabilité première de traiter plusieurs de ces questions, dont les deux conseils créés aux termes de l'Accord relatif à la qualité de l'eau dans les Grands Lacs - le Conseil de la qualité de l'eau et le Conseil consultatif scientifique -, le Conseil des gestionnaires de la recherche des Grands Lacs, le Groupe de travail sur les indicateurs pour l'évaluation et le personnel de la Commission mixte internationale qui assure l'examen des Plans d'action correctrice aux termes de l'Annexe 2 de l'Accord.

Le sommaire des priorités comprend de brefs survols, ainsi que les recommandations formulées par les groupes responsables et auxiliaires pour chaque priorité. À la fin de chaque résumé, on mentionne la référence au chapitre correspondant, où sont donnés plus de détails.

Ces chapitres sont les rapports des divers groupes. On n'a pas tenté de les harmoniser, puisque chacun présente le point de vue du groupe qui l'a rédigé pour fournir un avis indépendant à la Commission.

NOIRE FUTURE

SOMMAIRE DES PRIORITÉS

SOMMAIRE DES PRIORITÉS

Défis scientifiques à la prise de décisions 5

Mécanismes toxicologiques 5

Fardeau de la preuve : Approches de la prise de décisions dans un climat d'incertitude 5

Changement climatique 6

Programmes de réduction des toxiques 8

Suivi des activités du Groupe de travail sur l'élimination virtuelle 8

Programmes de réduction des toxiques des Parties 8

Prévention de la pollution 9

Impacts des changements sur l'écosystème du lac Érié 11

Prototype du modèle écologique du lac Érié 11

Cadre écosystémique 11

Usage des pesticides 12

Les eaux souterraines 12

Évaluation de la salubrité de l'écosystème 13

Évaluation de la salubrité de l'écosystème 13

Groupe de travail sur les indicateurs pour l'évaluation 14

Évaluation de la recherche 15

Inventaire de la recherche 15

Recrutement, formation et perfectionnement des scientifiques 15

Annexe 2 (Plans d'action correctrice et Plans d'aménagement panlacustre) 16

DÉFIS SCIENTIFIQUES À LA PRISE DE DÉCISIONS

Mécanismes toxicologiques

Pour ce qui est des futurs travaux sur les effets endocriniens de l'exposition aux substances chimiques présentes dans l'environnement, la priorité la plus élevée concerne l'élaboration de stratégies de recherche basées sur une analyse plus fine des seuils comportementaux et endocriniens dont on pourrait s'attendre qu'ils soient modifiés par une exposition, pendant la croissance, à des agents agissant sur les hormones.

Conclusion et recommandations

Chez les animaux, certaines substances chimiques présentes dans l'environnement peuvent avoir toute une gamme d'effets sur le système endocrinien et sur les systèmes organiques touchés par le système endocrinien. Il est donc important de déterminer si ces effets sont observés chez les humains soumis à une exposition ambiante, ou peuvent raisonnablement leur être extrapolés.

Le Conseil consultatif scientifique recommande que :

- **les gouvernements, les milieux universitaires, le grand public et l'industrie consentent des efforts concertés pour orienter la recherche de manière à :**

1. déterminer, s'il en est, les expositions ambiantes aux agents chimiques qui sont ou pourraient être des effecteurs endocriniens chez les êtres humains. Quelles sont, pour les agents chimiques répertoriés, l'exposition et la relation dose-réponse qui définissent les possibilités d'effets nocifs?
2. déterminer quels sont les effets et la morbidité qui, chez les êtres humains, peuvent se rattacher à une modification endocrinienne due à l'exposition à des agents chimiques présents dans le milieu et à quel stade de développement l'être humain est le plus sensible à ces effets
3. déterminer les mécanismes d'action des expositions ambiantes aux agents chimiques en ce qui concerne la modification endocrinienne et voir comment on peut faire intervenir ces connaissances dans le processus d'évaluation du risque
4. voir si l'on peut concevoir des relations entre la structure et l'activité pour prévoir avec exactitude les expositions ambiantes aux agents chimiques qui risquent de modifier le système endocrinien
5. voir si l'on peut mettre au point des marqueurs biologiques sensibles de la modification endocrinienne et en valider l'usage chez les animaux et les humains exposés aux agents chimiques présents dans le milieu
6. voir, chez les animaux, si l'on peut distinguer les expositions ambiantes aux agents chimiques qui sont des effecteurs endocriniens d'autres agresseurs environnementaux, par exemple la disparition de l'habitat, la malnutrition ou une évolution de la dynamique de l'écosystème susceptible d'influer de manière analogue sur le système endocrinien
7. voir, chez les humains, si l'on peut distinguer les expositions ambiantes aux agents chimiques qui sont des effecteurs endocriniens des effets endocriniens causés par des facteurs endogènes, alimentaires ou d'autres facteurs agressifs du mode de vie (perte d'emploi, etc.). Comment peut-on étudier leurs interactions?
8. déterminer les cohortes exposées à des agents chimiques dont on peut se servir pour étudier le potentiel qu'a l'exposition ambiante aux agents chimiques de modifier les fonctions endocriniennes ou les fonctions organiques touchées par le système endocrinien
9. voir si l'on peut concevoir des techniques pour endiguer la sécrétion des effecteurs endocriniens. Peut-on mettre au point des technologies plus efficaces?

(Conseil consultatif scientifique, Chapitre 2, p.102)

Fardeau de la preuve : Approches de la prise de décisions dans un climat d'incertitude

Tous admettent qu'il existe une sorte de gradation de la crédibilité entre le premier soupçon qu'un facteur donné du bassin des Grands Lacs soit dangereux et la «preuve» scientifique formelle qu'il l'est; il est cependant beaucoup plus difficile de trouver le point où l'on a des indications suffisantes que ce facteur est en toute probabilité vraiment dangereux. Bon nombre de ces soupçons se sont certes révélés injustifiés. Toutefois, si l'on attend d'avoir la preuve irréfutable qui convaincra les scientifiques les plus sceptiques, on peut faire subir à l'écosystème et à la santé humaine des dommages irréparables et irréversibles. Par contre, les alarmes prématurées peuvent avoir de graves conséquences socio-économiques et jeter le discrédit sur une politique mal appuyée par les faits scientifiques.

Le processus décisionnel se divise en deux volets complémentaires : l'évaluation des risques, qui fournit une détermination des dangers et une analyse de l'incertitude, et la gestion des risques, qui limite l'application de la politique dans l'espace et dans le temps; c'est ainsi que l'on permet aux choses d'avancer dans l'immédiat tout en prenant les précautions nécessaires en cas de mauvaise décision.

- Dans l'évaluation des risques sont reconnus les apports de la science de la causalité et ceux des groupes d'experts. Le Groupe de travail sur la santé de l'écosystème du Conseil consultatif scientifique a ajouté aux questions scientifiques généralement abordées dans l'évaluation des risques des considérations plus profondes des effets à long terme d'un facteur potentiellement dangereux en soi, de ses voies de circulation dans l'environnement et des réactions de ses

hôtes. Cet important élargissement des critères scientifiques figure à l'annexe A du chapitre du CCS, ce qui permet de l'utiliser à part plus facilement. Une bonne évaluation des risques doit déboucher sur une exposition claire des incertitudes présentes dans l'analyse. Elle doit se traduire à terme par une caractérisation des risques, qui devient le meilleur facteur scientifique de prise de décision qu'on puisse avoir à ce moment précis.

- La gestion des risques accepte la caractérisation des risques et l'analyse de l'incertitude comme apport scientifique à la prise de décision. Elle reconnaît aussi le droit des personnes les plus étroitement touchées par cette prise de décision à participer aux décisions concernant l'acceptabilité des risques et leur gestion. L'acceptabilité des risques sera souvent liée au civisme et aux valeurs de la communauté, et deviendra rapidement la caractéristique d'une population informée. Plusieurs principes orientent la gestion des risques, dont le principe de la prudence, l'inversion du fardeau de la preuve et l'éthique. Sont inclus dans la gestion des risques la prise en considération des incidences sur les plans juridique et socio-économique, sur celui de l'équité, ainsi que les impacts cumulatifs sur la santé de l'environnement et de la population dans la communauté touchée. On devrait aussi examiner les solutions de rechange qui s'offrent pour remplacer ou réduire le risque.

Il convient de faire preuve de transparence dans les processus d'évaluation et de gestion des risques, de rendre publics les degrés de preuve requis pour une décision particulière, et de prévoir des mesures de sécurité une fois la décision prise afin de détecter tout effet imprévu de la politique.

Le Conseil consultatif scientifique recommande que :

- **la caractérisation scientifique des risques comprenne officiellement la divulgation (1) des choix enchâssés dans la conception des recherches à l'appui; (2) des modificateurs des facteurs de risque utilisés; et (3) de toutes les incertitudes pertinentes**
- **la caractérisation des risques effectuée pour la prise de décisions relatives à l'environnement examine de façon explicite les conséquences indirectes possibles découlant des caractéristiques des dangers, des voies et de la réaction du milieu récepteur, comme il est mentionné à l'annexe I de la présente section**
- **les décideurs cherchent à obtenir ou recommandent des évaluations des valeurs pertinentes, des analyses légales et réglementaires, des évaluations socio-économiques, des analyses d'équité, des analyses éthiques et des évaluations des impacts cumulatifs en tant qu'apports nécessaires aux décisions en matière de gestion des risques.**
- **les décisions de la Commission fondées sur le poids de la preuve fassent clairement état de la preuve utilisée, des hypothèses, des valeurs, des incertitudes et des conséquences en jeu**
- **le niveau de preuve requis (hors de tout doute raisonnable, ou selon toute probabilité soit clairement indiqué**
- **le risque posé par l'inaction soit pris en compte dans les débats concernant la gestion des risques**
- **les recommandations et les décisions de la Commission fondées sur le poids de la preuve comportent des décisions parallèles concernant la surveillance raisonnable nécessaire pour l'évaluation des progrès vers le but souhaité ou, au contraire, à titre d'indicateur d'une mauvaise décision**
- **les recommandations et les décisions de la Commission fondées sur le poids de la preuve, de par leur nature provisoire, englobent des stratégies claires pour une coopération en continu entre les scientifiques et les gestionnaire**
- **le développement futur d'une base éthique pour l'organisation et l'établissement de l'ordre de priorité des buts en matière de santé humaine ou d'intégrité de l'environnement, en cas de conflit possible entre ces buts, soit entrepris.**

(Conseil consultatif scientifique, Chapitre 2, p. 84)

Changement climatique

Du 6 au 8 décembre 1993, s'est déroulé à Ypsilanti (Michigan) un atelier sur le changement climatique planétaire, sous l'égide du **Great Lakes Environmental Research Laboratory** (GLERL) de la **National Oceanic and Atmospheric Administration** (NOAA), du Cooperative Institute for Limnology and Ecosystems Research (CILER) et de la Great Lakes Commission. L'Administrateur de la NOAA avait chargé le GLERL de mettre sur pied le volet États-Unis d'une étude binationale des effets du changement climatique planétaire sur les Grands Lacs. L'atelier devait rattacher l'étude au projet en cours coordonné par le Service de l'environnement atmosphérique du Canada, et ses objectifs étaient les suivants :

- évaluer la situation actuelle de la recherche sur le changement planétaire et analyser les impacts dans le bassin des Grands Lacs;
- déterminer quels besoins restaient à combler dans ces domaines;
- élaborer pour les États-Unis un plan de recherche sur les effets du changement climatique dans le bassin des Grands Lacs, de manière à combler ces besoins et à jeter les bases de stratégies d'adaptation visant tout le bassin.

À l'atelier, neuf communications officielles ont été présentées et cinq groupes de discussions se sont penchés sur des questions liées aux incidences et à l'évaluation socio-économiques, à la santé de la population et de l'écosystème, aux mesures à long terme concernant le paysage, aux systèmes climatiques et physiques ainsi qu'aux politiques et à la gestion de l'eau.

On peut résumer comme suit les principales conclusions et recommandations; vu que les éventuels effets du changement et de la variabilité climatiques pourraient influer de plusieurs manières sur le tissu économique, environnemental et social du bassin des Grands Lacs,

- il conviendrait d'entreprendre une étude pour examiner les éventuelles incidences du changement climatique, ainsi que les stratégies d'adaptation et d'atténuation permettant d'y faire face;
- les actes de l'atelier pourraient constituer la base d'un plan d'étude pour les États-Unis.

Un comité des États-Unis s'est réuni à l'automne de 1994 et au printemps de 1995 pour planifier un symposium binational en vue de l'élaboration d'un plan binational de mise en oeuvre qui définirait les paramètres d'un projet sur le changement climatique dans le bassin des Grands Lacs et du Saint-Laurent.

Ce plan binational de mise en oeuvre a pour objectif de mener des recherches visant à améliorer la compréhension des interactions complexes entre le changement et la variabilité climatiques, l'environnement et nos systèmes économiques et sociaux, de manière à pouvoir élaborer des stratégies d'adaptation régionales éclairées permettant l'aménagement durable de la région.

Le cadre de recherche, à la fois global et souple, fournit la base de recherches ultérieures qui, lorsque les circonstances le permettront, viendront compléter la base de connaissances du projet binational. Parmi les domaines d'étude où des recherches supplémentaires seraient profitables, citons :

- l'évaluation des incidences du changement climatique sur la santé humaine;
- l'incidence du changement et de la variabilité climatiques sur les secteurs préoccupants et la mise en oeuvre de mesures correctrices;
- l'incidence du changement et de la variabilité climatiques sur les eaux souterraines, les processus en jeu dans les écosystèmes, les milieux humides, la biodiversité, la circulation dans les lacs et la qualité de l'eau;
- l'incidence de la fluctuation des conditions agroclimatiques sur les pratiques agricoles;
- l'incidence du changement climatique sur les charges atmosphériques et le transport à grande distance des substances toxiques.

Une grande partie de la recherche actuelle sur l'évaluation des incidences du changement climatique a porté sur le sud du bassin; les lacs Supérieur et Huron, le Saint-Laurent et les plans d'eau de l'intérieur ont reçu moins d'attention.

Conclusions et recommandations

Le Conseil consultatif scientifique félicite les Parties d'avoir élaboré un programme de recherche global et intégré, visant un bon nombre des questions majeures concernant le changement climatique, mais particulières au bassin des Grands Lacs. Un symposium devrait se tenir en 1996, à titre de suivi à la réunion binationale de 1988 à Chicago. Ce sera pour les chercheurs une excellente occasion de discuter et d'intégrer les actuels efforts tant régionaux que mondiaux, pour élargir le projet de 1988 d'élaboration d'une étude intégrée du bassin des Grands Lacs en un projet pilote régional de réponse internationale au changement climatique planétaire. Cette recommandation a récemment été reprise par la CMI dans son *Septième rapport biennal.*

Le projet de plan binational de mise en oeuvre prévoit ce genre d'étude intégrée, à condition de recevoir l'appui des Parties jusqu'à son terme en 2001. Le Conseil consultatif scientifique recommande donc que :

les Parties soient encouragées à appuyer la réalisation du plan binational de mise en oeuvre jusqu'en 2001 selon l'échéancier du tableau 6;

les Parties parrainent un symposium quinquennal sur le changement climatique dans le bassin des Grands Lacs, qui sera répété après la manifestation prévue pour 1996, et constituera une importante tribune scientifique de discussion et permettra de mesurer les progrès réalisés dans l'évaluation du changement climatique et l'adaptation à celui-ci;

la recommandation formulée dans le rapport de 1993 du Conseil consultatif scientifique, demandant aux Parties de s'engager à long terme à l'égard de la recherche sur le changement climatique conformément à l'annexe 17 de l'ARQEGL, et de faire rapport sur la question de façon complète et systématique dans le cadre d'un rapport sur l'état de l'écosystème du bassin des Grands Lacs, fasse l'objet d'un nouvel examen et soit priorisée dans les recommandations de la Commission aux Parties.

(Conseil consultatif scientifique, Chapitre 2, p. 114)

PROGRAMMES DE RÉDUCTION DES TOXIQUES

Suivi des activités du Groupe de travail sur l'élimination virtuelle

La question des substances toxiques rémanentes reste un point crucial pour nombre d'instances de la région des Grands Lacs, ainsi que pour la **Commission mixte internationale** (CMI ou Commission). La CMI a d'ailleurs proposé un certain nombre de mesures et d'orientations de politiques pour régler ce problème, comme en témoignent ses recommandations aux Parties. Plus précisément, elle a spécialement abordé la nécessité pour tous les secteurs de la société de contribuer à l'arrêt graduel de l'utilisation, de la production et du rejet de substances toxiques rémanentes et à l'adoption de procédés de production plus écologiques. De fait, la Commission a reconnu que l'efficacité d'une stratégie d'élimination virtuelle passait par un examen des modalités de l'abandon graduel de ces substances compte tenu des considérations technologiques, sociales et économiques qui pourraient surgir.

Le Groupe de travail du **Conseil consultatif scientifique** (CCS) sur la mise en oeuvre par les Parties a reconnu l'importance de planifier la transition et d'élaborer des mécanismes à cet effet. Dans le contexte de l'élimination virtuelle, le rôle de ces mécanismes et processus est de faciliter les changements sociaux et autres, en offrant à toutes les personnes concernées une tribune où évaluer les progrès, définir les solutions de rechange et s'entendre sur les priorités.

Le Groupe de travail a tenu en 1995 un atelier sur la transition vers l'élimination virtuelle. Le thème portait sur la **manière** de planifier la transition, mais il ne s'agissait pas de **se demander** s'il convenait d'abandonner graduellement une substance visée. L'atelier était centré sur une étude de cas visant les dioxines et furannes polychlorés comme cibles d'élimination virtuelle.

À la lumière des discussions tenues lors de l'atelier ainsi que des délibérations du Groupe de travail et du CCS dans son ensemble, un certain nombre de recommandations ont été formulées, dont la totalité peuvent être trouvées dans le chapitre rédigé par le CCS. Les quatre recommandations clés sont les suivantes :

> **que la Commission considère la planification de la transition vers l'élimination virtuelle comme une priorité d'études et de recherches ultérieures pour le prochain exercice biennal;**
>
> **que la Commission parraine une ou plusieurs tables rondes afin de lancer le dialogue des intervenants sur le sujet, et de mieux définir comment le mandat devrait être interprété et appliqué;**
>
> **que la Commission recherche activement des manières de se faire entendre sur la scène internationale, en Amérique du Nord et au-delà, et de participer aux discussions;**
>
> **que la Commission réitère, en particulier, la recommandation 20 de son *Septième rapport biennal* aux Parties, qui demande que «les gouvernements, l'industrie et les organisations syndicales commencent à élaborer des plans pour faire face aux perturbations économiques et sociales qui pourraient se produire à la suite de l'élimination graduelle des substances toxiques rémanentes».**

(Conseil consultatif scientifique, Chapitre 2, p. 110)

Programmes de réduction des toxiques des Parties

En 1994, le Groupe de travail du Conseil consultatif scientifique sur la mise en oeuvre par les Parties a voulu connaître l'état d'avancement des programmes de réduction des toxiques et des activités connexes menés dans le bassin des Grands Lacs par les gouvernements fédéraux, ainsi que ceux des États et de la province de l'Ontario. Il a pris contact avec 99 représentants d'organismes des États des Grands Lacs, de la province de l'Ontario et des deux gouvernements fédéraux; à partir de leurs réponses, il a établi une liste de lois, programmes et données concernant les substances chimiques toxiques. On trouvera ci-dessous un résumé des conclusions de cette étude.

Lois : Toutes les instances disposent de lois pour réduire les rejets de substances chimiques toxiques. Peu d'entre elles exigent la collecte de données, et peu visent tous les volets de l'environnement. Les ensembles de données recueillis par pouvoir statutaire contiennent des renseignements sur le respect de la réglementation; ils peuvent donc être limités à certains types de substances et varier considérablement d'un endroit à l'autre en ce qui concerne les détails, les techniques de collecte de données et l'actualité.

Programmes : Des programmes multi-milieux de réduction des toxiques ont été mis en place via un certain nombre d'accords industriels volontaires. Il existe dans des municipalités locales et régionales certains programmes volontaires visant les déchets domestiques dangereux, et des activités de réduction de la pollution rurale de source diffuse sont parrainées par de nombreux organismes agricoles dans le cadre de la planification environnementale agricole. On signale peu d'efforts concernant les rejets de substances chimiques toxiques de sources diffuses, comme des programmes de protection à la tête du puits (pour l'eau souterraine). De nombreux programmes de réduction des toxiques s'appliquent à un milieu ou un contaminant donné, aussi est-il difficile de faire des comparaisons d'une instance à l'autre.

Résultats mesurables : On dispose de très peu d'information chronologique sur les conditions de l'écosystème à l'échelle du bassin des Grands Lacs. Les données accessibles se composent surtout d'information détaillée sur des problèmes et conditions localisés. Du fait de la fragmentation de cette base de données, peu d'organismes ont assez de données pour faire une évaluation globale de la qualité de l'eau sous l'angle des substances chimiques toxiques; peu en ont assez pour déterminer la contribution relative en toxiques par type de source (p. ex. les sources agricoles diffuses par rapport aux sources industrielles ponctuelles); et peu en ont assez pour pouvoir évaluer les rejets de substances chimiques toxiques ou les tendances temporelles de l'impact sur les eaux réceptrices.

Cet examen a mis en évidence que les Parties n'ont pas réussi à élaborer des démarches conjointes ou binationales en matière de programmes de réduction des toxiques ou d'inventaires de données, en partie du fait des différences entre les cadres législatifs, les approches de gestion des toxiques et les besoins en collecte et analyse de données. Il n'est certes pas nécessaire que les Parties aient des programmes identiques, mais le Groupe de travail juge qu'elles doivent améliorer leur capacité de comparer, à l'échelle du bassin, les progrès réalisés, afin de pouvoir s'acquitter des obligations qu'elles ont contractées aux termes de l'Accord relatif à la qualité de l'eau dans les Grands Lacs.

Le Conseil de la qualité de l'eau des Grands Lacs recommande que :

la Commission considère les programmes de réduction des toxiques comme une priorité d'action pour le prochain exercice biennal. À cette fin, la Commission devrait créer, au sein du Conseil consultatif scientifique, et en collaboration avec le Conseil de la qualité de l'eau des Grands Lacs et le Conseil des gestionnaires de la recherche des Grands Lacs, un groupe de travail spécial dont le mandat consisterait à :

(a) élaborer des mécanismes et critères binationaux normalisés pour évaluer les lois, programmes et activités de collecte de données relatifs à la gestion des substances chimiques toxiques;

(b) conseiller la Commission sur la conception et la mise en oeuvre de ces activités afin d'évaluer les apports de toxiques dans le bassin des Grands Lacs;

la Commission rappelle avec insistance aux Parties la recommandation formulée dans son *Septième rapport biennal* et s'énonçant comme suit :

- **«que les gouvernements adoptent une stratégie binationale concrète et coordonnée dans un délai de deux ans établissant un ensemble commun d'objectifs et de méthodes d'intervention afin de stopper les apports de substances toxiques rémanentes dans l'environnement des Grands Lacs, en s'appuyant sur le cadre élaboré par le Groupe de travail sur l'élimination virtuelle».**

(Conseil consultatif scientifique, Chapitre 2, p. 106)

Prévention de la pollution

Dans son *Septième rapport biennal*, la Commission préconisait encore que soit adoptée une approche de prévention, plutôt que de réaction ou de limitation, à l'élimination des substances toxiques rémanentes du bassin. Elle a prié le Conseil de la qualité de l'eau des Grands Lacs d'examiner l'application de cette approche; le Conseil consultatif scientifique s'est joint à cet effort pour s'attaquer à certains des aspects techniques, socio-économiques et culturels de la prévention de la pollution. Les deux conseils ont tenu un atelier sur la prévention de la pollution à Ann Arbor (Michigan), les 29 et 30 mars 1995; le chapitre rédigé par le Conseil de la qualité de l'eau des Grands Lacs pour le présent rapport en présente un résumé détaillé.

Soutenu par le fort cadre réglementaire établi dans les 25 dernières années, chaque organisme du bassin se dirige vers la prévention, en même temps que la limitation, de la pollution. Quelques industries ont adopté, dès le début des années 1970, cette approche qui a été officialisée, aux États-Unis, par le *Pollution Prevention Act* de 1990 et, au Canada, par l'engagement des gouvernements fédéral et provinciaux sous l'égide du Conseil canadien des ministres de l'Environnement en 1993.

La prévention de la pollution est centrée sur la réduction ou la limitation à la source de la *création* de polluants ou de déchets; elle passe généralement par des interactions à base volontaire, la prise en considération de préoccupations multi-milieux, la fourniture d'aide technique par le gouvernement et l'utilisation d'incitatifs positifs, comme des programmes de récompenses et subventions.

Plusieurs programmes importants ont été examinés par le Conseil de la qualité de l'eau des Grands Lacs, dont ceux des fabricants d'automobiles et de produits chimiques. À l'atelier, on a aussi discuté des pratiques européennes, surtout celles qui concernent la gérance du produit pendant sa durée de vie, la gestion des déchets depuis le niveau du ménage et la possibilité de retirer du marché certaines substances commerciales.

À plus long terme, l'accent semble porter sur une analyse du cycle de vie des produits et l'adoption d'une approche de «conception en fonction de l'environnement» incluant le démontage. Il convient de prendre en compte la totalité des coûts de production, y compris les matières premières, la consommation d'énergie et le recyclage, la réutilisation et l'élimination finale. Les déchets doivent être maintenant considérés comme des matériaux utiles, et les inventaires de gestion des matières devraient remplacer les inventaires de déchets.

Pour atteindre leur pleine efficacité, la formation et le perfectionnement donnés au personnel technique, tant en maison d'enseignement qu'en cours d'emploi, devraient incorporer cette vision plus large; il en va de même dans les domaines des finances et de la gestion. Des changements fondamentaux dans la production des produits chimiques sont en cours de développement, et devraient recevoir un encouragement. Il faut repérer et surmonter les obstacles, qu'ils soient institutionnels ou réglementaires.

L'atelier a mis en évidence les points suivants : i) les mesures réglementaires resteront un stimulant indispensable à l'approche de prévention de la pollution; ii) pour être pleinement efficace, l'approche doit viser tous les niveaux de la société; iii) les considérations énergétiques sont l'un des éléments de base de la prévention de la pollution; iv) il conviendrait de chercher un moyen de quantifier les réductions ou éliminations précises de la contamination attribuables à la prévention de la pollution; v) en cas de renégociation, il conviendrait d'approfondir la question de la prévention de la pollution dans les versions ultérieures de l'Accord relatif à la qualité de l'eau dans les Grands Lacs.

Le Conseil de la qualité de l'eau et le Conseil consultatif scientifique recommandent conjointement ce qui suit :

> **Des obstacles importants sur le plan de la réglementation empêchent l'adoption à grande échelle d'une approche fondée sur le cycle de vie en matière de gestion des résidus et des produits désuets comme partie intégrante d'une économie durable en ce qui a trait aux matériaux. La Commission devrait encourager les Parties à définir systématiquement ces obstacles pour satisfaire aux objectifs et à la politique en matière de prévention de la pollution. La gestion axée sur le cycle de vie doit comprendre le concept de la régénération selon lequel les déchets sont traités comme des ressources, et gérés en conséquence.**

En outre, le Conseil de la qualité de l'eau recommande que :

i) Si les Parties décident de reprendre les négociations dans le cadre de l'Accord, elles doivent envisager des ajouts concernant un examen plus approfondi de la prévention de la pollution, notamment en désignant cette approche comme étant l'approche privilégiée, en élargissant sa portée au-delà des sources municipales et industrielles, et en élaborant des principes directeurs appropriés.

ii) Les Parties devraient examiner leurs efforts visant l'inventaire des rejets afin de déterminer si les réductions attribuables à la prévention de la pollution peuvent être quantifiées, en particulier dans le cas des substances toxiques persistantes, et si la création d'un inventaire axé sur la gestion des matériaux plutôt que sur la gestion des déchets serait opportune et pertinente.

(Conseil de la qualité de l'eau, Chapitre 1, p. 21)

IMPACTS DES CHANGEMENTS SUR L'ÉCOSYSTÈME DU LAC ÉRIÉ

Prototype du modèle écologique du lac Érié

Avec le début d'un nouveau cycle biennal en octobre 1993, les Commissaires ont attribué un certain nombre de priorités assorties de sous-éléments aux divers conseils et comités de la Commission mixte internationale (CMI). Mentionnons entre autres «Le cadre écosystémique» et «Les milieux humides» qui ont été confiés au Conseil des gestionnaires de la recherche des Grands Lacs ainsi que «L'usage des pesticides», «Les eaux souterraines» et «**Le Groupe de consultations sur les pollutions dues aux utilisations des terres**»(GCPUT) assignés au Conseil de la qualité de l'eau. Ces sous-éléments sont traités ailleurs dans les sections correspondantes.

Le sous-élément «Changements écologiques», attribué initialement au Comité de direction du lac Érié, a été par la suite élargi pour englober la préparation d'un prototype de modèle écologique du lac Érié. Le comité a été converti en un Groupe de travail qui a été doté des ressources nécessaires pour l'exécution de ce nouveau mandat.

Le Groupe de travail a le plaisir de constater que l'approche de modélisation offre un potentiel en guise d'outil durable destiné à aider les gestionnaires du lac Érié à prendre des décisions appropriées en matière de politiques. En outre, le modèle permet de déterminer les effets des agents stressants sur l'écosystème du lac Érié, en particulier sur l'élément des pêches. La structure du modèle permet de comprendre, par des essais et des déterminations, les effets et les interactions entre les agents stressants ainsi que les liens entre les agents stressants dans l'écosystème du lac.

Le défi consiste à s'assurer que l'exercice de modélisation, actuellement sous une forme de prototype, se poursuivra au-delà de cette première itération approximative. La prochaine étape du Groupe de travail visera à faire du modèle un outil utilisable.

Le Groupe de travail a établi une démarche qui, si elle est suivie, garantira un développement continu. Avec la collaboration soutenue de conseillers et la sélection de quelques «leaders» supplémentaires, nous saurons mieux utiliser nos ressources limitées. Cette approche a été caractérisée par le Conseil des gestionnaires de la recherche des Grands Lacs comme l'espoir et le défi des cinq prochaines années. Le Groupe de travail souscrit à cette approche.

L'élaboration du projet de modélisation écologique du lac Érié s'est révélée un exercice extrêmement positif pour le Groupe de travail. Nous tenons à exprimer notre reconnaissance aux conseillers, et en particulier au Groupe LURA ainsi qu'à Mrs. J. Koonce et A. Locci pour leur précieux concours.

Recommandations

Le Groupe de travail sur le lac Érié conclut que le modèle offre des potentialités d'outil valable à l'usage des gestionnaires, des scientifiques et des chercheurs pour le lac Érié et peut s'adapter à des utilisations applicables à d'autres Grands lacs. Cet exercice de modélisation témoigne du leadership considérable de la Commission dans les activités axées sur la compréhension des changements dans l'écosystème du lac Érié. L'élaboration d'un modèle écosystémique permettra de mieux connaître les changements et même de les prévoir, ce qui assure aux gestionnaires un degré de confiance plus élevé dans leur démarche.

Avec la mise sur pied d'un Groupe de travail spécial sur le lac Érié, la CMI a confirmé que la priorité du lac Érié revêt une importance majeure. En amorçant l'élaboration de ce prototype, la CMI facilite les progrès. Nous proposons que la CMI continue de jouer ce rôle de leadership.

Le Groupe de travail recommande que la CMI poursuive ses efforts dans le développement du modèle du lac Érié au cours du prochain cycle biennal.

(Groupe de travail sur le lac Érié, chapitre 4, p. 163)

Cadre écosystémique

Au cours des cinq dernières années, le Conseil des gestionnaires de la recherche des Grands Lacs a élaboré un cadre écosystémique. L'objectif consistait à établir un diagramme schématique montrant les liens existant entre les connaissances sur les systèmes naturels du bassin des Grands Lacs et les processus sociétaux et institutionnels et faciliter ainsi la sélection des priorités en matière de recherche et des options en matière de politiques. La Commission a demandé au Conseil des gestionnaires de la recherche des Grands Lacs d'apporter leurs conseils sur l'application de la méthodologie à la question de la moule zébrée dans le lac Érié dans le cadre de ses priorités de 1993-1995. Le Conseil a tenu un atelier à Ann Harbor, les 17 et 18 janvier 1995, pour donner suite à cette demande.

Pour remédier surtout aux problèmes causés par l'introduction de la moule zébrée dans les Grands Lacs, le Congrès américain a adopté, en 1990, la Nonindigenous Aquatic Nuisance Prevention and Control Act (Loi sur la prévention et le contrôle des nuisances aquatiques non indigènes). La Loi prévoit la création de l'Aquatic Nuisances Species Task Force, un groupe de travail composé de représentants de diverses agences concernées et chargé d'élaborer un cadre destiné à réduire les risques d'introduction accidentelle d'espèces nuisibles et à surveiller et éliminer ces dernières dans les milieux aquatiques où elles sont déjà implantées dans l'ensemble des États-Unis.

L'atelier organisé par le Conseil visait à aider les participants représentant différents poins de vue et intérêts à s'attaquer au problème complexe de la recommandation de priorités en matière de recherche sur la moule zébrée et de parvenir à des décisions acceptables pour tous.

Les priorités de recherche sur la moule zébrée dans le lac Érié devraient prévoir des mesures de prévention et d'atténuation. Les approches préventives comprennent l'identification des envahisseurs potentiels, leurs exigences et tolérances écologiques ainsi que la détermination de mesures préventives par l'élaboration de lois et la mise au point de technologies appropriées, particulièrement en matière de transport maritime et de navigation. Après l'invasion d'une espèce exotique, la mise en oeuvre de mesures correctives s'impose publiquement. Des modèles prévisionnels devraient alors être développés pour déterminer les effets sur les cycles des éléments nutritifs et des contaminants, des stratégies de lutte intégrée devraient être mises au point compte tenu des conséquences des diverses options de lutte, et des mesures de contrôle physique et non chimique devraient être entreprises.

(Conseil des gestionnaires de la recherche des Grands Lacs,chapitre 3, p. 151)

Usage des pesticides

Dans le cadre des priorités de la Commission pour le lac Érié de 1993-1995, le Conseil de la qualité de l'eau a été chargé d'étudier les récents développements dans le secteur agricole et d'accorder une attention particulière à l'usage des pesticides et à leurs effets. Ces études se sont déroulées au cours de deux ateliers sous parrainage.

Le Conseil a confirmé que le bassin du lac Érié étant l'une des zones de cultures les plus intensives du bassin (et de l'Amérique du Nord), il continue de recevoir des millions de kilogrammes de pesticides répandus sur les cultures, en particulier le maïs et le soya. Les effets d'un pesticide dénommé atrazine, en particulier sur la qualité de l'eau de boisson, semblent justifier notamment la poursuite d'études.

Les ateliers ont également mis en évidence le soutien de l'organisme pour l'adoption de pratiques de gestion, notamment la lutte intégrée contre les ennemis des cultures pour réduire l'utilisation de pesticides et l'efficacité de pratiques aratoires antiérosives pour diminuer la sédimentation des voies d'eau. Un soutien permanent est nécessaire pour l'établissement d'inventaires de pesticides, la mise en oeuvre de plans agro-environnementaux sur une base individuelle ainsi que l'application de la télédétection et du positionnement global pour améliorer les épandages d'engrais et de pesticides et pour vérifier les progrès des méthodes culturales de conservation du sol.

(Conseil de la qualité de l'eau, chapitre 1, p. 50)

Les eaux souterraines

Conformément à la priorité du lac Érié, le Conseil de la qualité de l'eau a apporté son aide à une étude documentaire consacrée aux impacts des eaux souterraines contaminées dans ce bassin. Cette étude a caractérisé l'écoulement des eaux souterraines vers le lac, notamment la migration des nitrates et des pesticides par les installations de drainage agricole. Des activités d'élimination en puits profond au voisinage de la rivière Ste-Claire et des écoulements estimatifs d'eaux souterraines vers des portions du bassin ont été notées; toutefois, la base actuelle de données n'a pas été jugée suffisante pour pouvoir établir une estimation de l'écoulement souterrain total du bassin. L'étude a révélé la nécessité de procéder à une nouvelle compilation des travaux de recherche sur les eaux souterraines et d'effectuer des évaluations sur le terrain du potentiel de migration des eaux souterraines à travers les sédiments de fond du lac. D'autres déterminations de la composition chimique des écoulements des eaux souterraines ont également été proposées.

Le Conseil de la qualité de l'eau recommande que la Commission préconise une approche préventive pour assurer la protection des ressources en eaux souterraines et encourage les Parties à contribuer activement à la mise en oeuvre de l'Annexe 16 (Annexe sur les eaux souterraines contaminées) de l'Accord.

(Conseil de la qualité de l'eau, chapitre 1, p. 56)

ÉVALUATION DE LA SALUBRITÉ DE L'ÉCOSYSTÈME

Évaluation de la salubrité de l'écosystème

La tâche initiale entreprise par le sous-groupe de l'évaluation de la salubrité de l'écosystème dans le cadre des priorités du cycle biennal de 1993-1995 consistait à préparer un document de travail sur les méthodes de diagnostic, de pronostic, de traitement et de remise en état des écosystèmes soumis à des agents stressants. Il a été décidé que les questions relatives à la santé humaine dans le contexte de la salubrité des écosystèmes devaient être traitées. Le sous-groupe a produit, sous contrat avec la chaire de l'Environmental Health, McMaster University (MM. John Coyle et Donald Cole), une monographie intitulée : *Human Health in Ecosystem Health : Issues of Meaning and Measurement* et consacrée à ce thème. Cette monographie examine la salubrité de l'écosystème par rapport au bien-être de l'environnement humain dans son sens le plus large et considéré comme essentiel à la santé humaine. Cette section traite essentiellement de la santé humaine, celle-ci étant définie comme l'absence de maladie, c'est-à-dire, selon les points saillants du chapitre des priorités du rapport du Conseil consultatif scientifique, qu'elle vise à souligner les données sur la maladie humaine causée par l'exposition à la présence d'agents dans les écosystèmes et non pas déterminée par la génétique humaine, les comportements inhérents au mode de vie, la nutrition ou des déterminants sociaux tels que la classe, la pauvreté, l'éducation et l'estime de soi.

La meilleure preuve de l'existence d'effets du milieu sur la santé est établie au moyen d'études épidémiologiques dans les cas où cette preuve existe. Ces études sont limitées par les difficultés dans l'évaluation des expositions aux agents toxiques, comme les niveaux d'exposition ambiante (c'est-à-dire le classement exact des sujets relativement très exposés et des sujets inexposés. Des études épidémiologiques exigent également que l'exposition - l'effet sur la santé - soit mesurée avec exactitude. Bon nombre de préoccupations au sujet des expositions ambiantes concernent des effets subtils : des influences sur le développement neurocomportemental, le Q.I., le développement psychosexuel et la fécondité, qui peuvent être importantes si elles se manifestent sur une grande échelle dans l'ensemble de la population, même si l'impact ou la carence chez chaque individu est de faible conséquence. D'autres conséquences sont d'une importance majeure pour l'individu (cancers, anomalies congénitales) mais leurs probabilités sont faibles aux niveaux d'exposition ambiante. Comme ces conséquences peuvent être causées par de nombreux facteurs, il est souvent difficile de déterminer si un facteur environnemental s'ajoute au fardeau de la maladie. Les risques pour la salubrité de l'environnement peuvent également être estimés par des protocoles d'évaluation des risques utilisant des données sur les risques de cancer et d'anomalie congénitale chez les animaux. Dans certaines situations, des effets sur la santé qui se sont manifestés en milieu professionnel peuvent être raisonnablement extrapolés à des expositions ambiantes.

La charge que représentent les maladies environnementales renvoie à la proportion d'affections, notamment les conséquences sur la santé qui peuvent être attribuables à des expositions ambiantes précises. Si le risque relatif de l'apparition d'un effet chez des individus exposés au sein de populations est connu et que la fréquence de l'exposition est connue, il est possible de calculer la fraction attribuable. Malheureusement, les informations précises sur les expositions aux substances chimiques toxiques dans le milieu du bassin des Grands Lacs sont très rares.

Il est difficile d'attribuer une proportion précise de la charge globale que représentent les maladies à la dégradation de l'environnement ou de l'écosystème; toutefois, la santé humaine est un élément essentiel du paradigme de la salubrité de l'écosystème. La notion de salubrité de l'écosystème intériorise le bien-être humain pour en faire une composante de l'environnement tandis qu'une vision centrée sur la santé humaine intériorise l'environnement qui est utilisé pour le bien-être de l'individu et de la communauté. La force de la métaphore ou du paradigme est évidente. Suivant la notion de la salubrité de l'écosystème, les êtres humains font partie intégrante de la nature. La métaphore implique une profonde résonance avec les valeurs essentielles sur nous-mêmes, sur notre identité et sur notre place dans le monde.

Au cours de notre démarche visant à «mesurer» la salubrité de l'écosystème et la santé humaine comme partie intégrante de ce dernier, nous devons reconnaître que les notions «écosystème», «santé» et autres termes similaires sont des notions abstraites ayant des répercussions non seulement sur l'objet de nos mesures, mais également sur nos méthodes de mesure. Tous les indicateurs sont axés sur un objectif; ils servent à surveiller essentiellement un changement «du système» compte tenu de résultats souhaités donnés. Tous les indicateurs (étant donné qu'ils sont choisis dans un univers inconnaissable groupant tous les indicateurs possibles) sont normatifs. «L'écosystème» ou «l'environnement» représente une valeur d'intérêt fondamental dans le processus d'identification et en ce qui a trait aux intérêts des populations du bassin des Grands Lacs. Les ensembles de valeurs qui déterminent la sélection des indicateurs de la salubrité de l'écosystème et de la santé humaine devraient être clairement établis pour toute série d'indicateurs produite. Il est nécessaire de disposer d'indicateurs distincts pour la salubrité de l'écosystème et la santé humaine puisque leurs buts et objectifs sont différents; dans le premier cas, il s'agit de la stabilité, de la pérennité ou de la résilience de l'écosystème tandis que dans le deuxième, il est question de l'état de santé des individus. Il existe un lien, toutefois, entre les indicateurs de la santé des populations humaines (santé publique) et les indicateurs de la salubrité de l'écosystème.

Le Conseil consultatif scientifique recommande que la Commission, dans le cadre de ses activités prioritaires et des

conseils donnés aux parties, appuie d'autres recherches pour la détermination des niveaux d'exposition aux produits chimiques toxiques dans l'environnement du bassin des Grands Lacs et intègre les principaux généraux suivants pour la détermination d'autres indicateurs de la charge que représentent les maladies environnementales :

la surveillance continue des toxiques dans les milieux, y compris les trihalométhanes, les nitrates, les contaminants microbiens dans l'eau potable, les MP-10, l'ozone et les sulfates dans l'atmosphère ainsi que les produits chimiques toxiques bioaccumulables en général

la synthèse systématique des résultats des échantillonnages d'eau pour la recherche des contaminants microbiens qui conduisent à la fermeture des plages. Envisager la possibilité d'ajouter à ces données des informations sur les symptômes observés chez les usagers des plages.

l'inclusion de facteurs pertinents relatifs à l'exposition dans le milieu ambiant (par ex. le temps passé à l'extérieur, la prise en compte des activités) et de facteurs liés à la consommation (par ex. la faune et le poisson d'eau douce) dans les études représentatives sur la santé. On pourrait lier les mesures générales représentatives de contaminants clés dans les liquides corporels (par ex. les BPC ou le DDE, pour les organochlorés, dans le sérum et le lait maternel, le mercure et le plomb, pour les métaux, dans le sang entier) avec ces facteurs et d'autres facteurs sociaux pertinents.

la surveillance des conséquences établies liées à la salubrité de l'environnement, par exemple l'asthme, de façon à ce que ces conditions puissent être considérées comme des sentinelles qui avertissent des effets de la pollution

la reconnaissance du fait que certains indicateurs de la maladie chez l'homme conviennent mal à la fourniture d'informations utiles sur les répercussions de questions environnementales sur la santé humaine, par ex. la plupart des données sur la morbidité et la mortalité qui sont habituellement recueillies, y compris les pourcentages des cas de cancer

l'élaboration de structures longitudinales relatives à l'exposition et aux conditions d'intérêt pour formuler des conclusions plus fermes quant aux relations entre l'exposition et les conséquences sur la santé

En outre, il est recommandé que la Commission :

appuie les mesures qui permettraient de réduire l'exposition des personnes aux substances toxiques persistantes, par exemple les BPC, et de diminuer les concentrations de ces substances dans les tissus humains

appuie l'élaboration d'indicateurs et d'échelles qui mesurent le niveau de salubrité environnementale ainsi que d'indices du stress et de l'état de l'environnement

continue de surveiller la production de rapports sur l'état de l'environnement et le développement durable dans le but de fournir de l'information, dans ses recommandations à l'intention des parties, concernant les indicateurs dans le bassin des Grands Lacs. Étant donné que ces rapports utilisent souvent une approche à grande échelle pour le choix des indicateurs, cette surveillance est nécessaire pour aider à assurer la prise en compte des considérations touchant à l'exposition des êtres humains dans le cadre des évaluations de la contamination des espèces cibles de poisson et de faune.

(Conseil consultatif scientifique, chapitre 2, p. 70)

Groupe de travail sur les indicateurs pour l'évaluation

En application de l'Accord relatif à la qualité de l'eau dans les Grands Lacs, il est dans l'intention du gouvernement des États-Unis d'Amérique et du gouvernement du Canada «de rétablir et de conserver l'intégrité chimique, physique et biologique des eaux de l'écosystème du bassin des Grands lacs». Pendant plus de deux décennies, plusieurs programmes et mesures ont été entrepris à cette fin.

En vertu de l'article VII de l'Accord, la Commission mixte internationale est chargée d'évaluer la mise en application de l'Accord et d'assurer la prestation de conseils aux gouvernements. Pour pouvoir exécuter son mandat, la Commission doit disposer de données et d'informations. Pour faciliter l'examen de ces exigences et pour élaborer un cadre nécessaire à l'évaluation et à la prestation de conseils, la Commission a créé, en 1993, un Groupe de travail sur les indicateurs pour l'évaluation.

Le groupe de travail a tenu une session sur la définition des questions (2-3 décembre 1993) et un atelier sur les indicateurs (5-6 octobre 1994) pour se familiariser avec les activités pertinentes et pour déterminer des indicateurs précis visant à évaluer la mise en application de l'Accord. Il a préparé par la suite une première version d'un Livre blanc, qui a été distribué (mai 1995), à des fins d'examen, aux membres des Comités de la Commission et du Conseil, aux participants de l'atelier et à d'autres personnes sélectionnées. D'après les commentaires reçus, le Groupe de travail a révisé sa première version et a rédigé un rapport final contenant des résultats, des conclusions et des recommandations. Le rapport a été soumis à la Commission sous forme de document distinct auquel se reportera le lecteur.

Pour obtenir un exemplaire du rapport, contacter la Commission mixte internationale, 100 avenue Ouellette - 8e étage, Windsor (Ontario) N9A 6T3 ou P.O. Box 32869, Detroit, Michigan 48232-2869.

(Groupe de travail sur les indicateurs pour l'évaluation, Chapitre 5, p. 179)

ÉVALUATION DE LA RECHERCHE

Inventaire de la recherche

Depuis la signature, en 1972, de l'Accord relatif à la qualité de l'eau dans les Grands Lacs, le Conseil a toujours le mandat d'évaluer la pertinence des recherches et de présenter des recommandations en la matière à la Commission ainsi que de promouvoir la coordination des programmes. Au cours des ans, une série d'inventaires ont été préparés afin de satisfaire à cette disposition. Cette responsabilité a exigé des ressources assez importantes. L'inventaire le plus à jour a été compilé de 1993 à 1995 par la National Oceanic and Atmospheric Administration et le Ministère de l'Environnement et de l'Énergie de l'Ontario, qui sont des agences membres du Conseil. Le personnel du Bureau régional des Grands Lacs coordonne les demandes de renseignements des directeurs de recherche et fait parvenir les données à ces deux dernières agences.

Plusieurs modifications ont aussi été apportées aux méthodes utilisées pour compiler l'inventaire. Par exemple, on recueille des renseignements sur une plus vaste gamme de sujets de recherche depuis que la gestion du bassin des Grands Lacs se fait selon une approche écosystémique. De plus, outre les recherches sur la pollution causée par les éléments nutritifs, les substances toxiques et les radionucléides, on s'intéresse maintenant à l'introduction d'espèces exotiques, à l'utilisation des terres et aux terres humides, aux habitats littoraux et terrestres, à la gestion des ressources halieutiques, fauniques et forestières ainsi qu'aux processus écologiques. Un nouveau système de classement a été créé pour tenir compte de toutes ces catégories d'études.

Dans le passé, la préparation et la publication d'inventaires de la recherche à jour posaient un défi. Les coûts étaient considérables et il arrivait souvent que les données compilées étaient périmées au moment de l'achèvement des documents. Pour la plus récente publication, les travaux ont été effectués au moyen de réseaux binationaux compatibles au sein des deux agences membres susmentionnées, et en outre, le Conseil a décidé que l'inventaire serait accessible par le réseau informatique **Great Lakes Information Network** (GLIN) mais non pas sous forme imprimée.

(Conseil des gestionnaires de recherche des Grands lacs, Chapitre 3, p. 146)

Recrutement, formation et perfectionnement des scientifiques

Les membres actuels de la communauté scientifique spécialisée dans la recherche sur les Grands Lacs et le fleuve Saint-Laurent représentent une population en vieillissement. Le Conseil des gestionnaires de la recherche des Grands Lacs a mis en évidence la nécessité d'assurer la relève par le recrutement d'universitaires diplômés hautement qualifiés et disposés à travailler au sein d'équipes pluridisciplinaire.

Le Conseil a conclu que de nombreux chercheurs scientifiques à l'emploi du gouvernement auront pris leur retraite d'ici la fin des années 1990; l'effectif des universitaires diplômés en sciences et en génie dans le bassin a légèrement augmenté au cours de la dernière décennie; on n'envisage pas de pénurie de diplômés qualifiés pour prendre la relève des professionnels à leur départ à la retraite; la période de recrutement de diplômés qualifiés destinés à remplacer les spécialistes qui prendront leur retraite dans les dix prochaines années peut se révéler d'une importance cruciale pour assurer la continuité de la recherche sur les Grands Lacs.

(Conseil des gestionnaires de la recherche des Grands Lacs, Chapitre 3, p. 146)

ANNEXE 2 (PLANS D'ACTION CORRECTRICE ET PLANS D'AMÉNAGEMENT PANLACUSTRE)

Le problème des sédiments contaminés pose un défi majeur en matière de technologie et de financement pour les **secteurs préoccupants** (SP). Les activités menées au port de Collingwood peuvent servir de modèle pour les autres secteurs préoccupants qui s'efforcent de mener à terme leurs plans d'action correctrice. Le financement des **plans d'action correctrice** (PAC) et des **plans d'aménagement panlacustre** (PAP) étant de plus en plus assujetti à des contraintes, l'importance des considérations socio-économiques, en particulier dans la décontamination des sédiments, devient manifeste. Il faut fixer des priorités de manière à pouvoir élaborer des stratégies intégrant un échelonnement judicieux des plans d'assainissement coûteux.

Une série de questions destinées à orienter les évaluateurs des Étapes 1 et 2 des PAP a été préparée. L'élaboration de ces questions avant que la Commission mixte internationale ait commencé l'examen de tout PAP veille à assurer que toutes les personnes concernées comprennent les attentes de la Commission en ce qui concerne le contenu du PAP. Les questions destinées à l'examen des Étapes 3 et 4 des PAP sont en préparation.

(Annexe 2 - Activités d'examen, Chapitre 6, p. 183)

Chapitre Un :

CONSEIL DE LA QUALITÉ DE L'EAU DES GRANDS LACS

1.0 ACTIVITÉS DU CONSEIL DE LA QUALITÉ DE L'EAU DES GRANDS LACS 20
Introduction 20

1.1 PRÉVENTION DE LA POLLUTION : SITUATION ACTUELLE ET DÉFIS PERMANENTS 21
1.1.1 Introduction 21
1.1.2 L'évolution de la législation en matière de prévention de la pollution 22
La *Pollution Prevention Act* des É.-U. (1990) 22
Canada Initiatives gouvernementales aux échelons fédéral et provincial 23
1.1.3 La prévention de la pollution et les Grands Lacs L'atelier d'Ann Arbor 23
La prévention de la pollution et l'*Accord relatif à la qualité de l'eau dans les Grands Lacs* 23
1.1.4 Survol du programme relatif au bassin 24
Programme binational : le lac Supérieur 25
L'expérience européenne 25
Discussions pendant l'atelier 26
La prévention de la pollution dans l'Accord 26
Évaluation des progrès 27
Élargissement de l'éventail des activités visant la prévention de la pollution 28
Conception en fonction de l'environnement 28
Défis sur le plan de l'éducation 29
Élargissement du cercle 29
La technologie, moyen d'action 30
Introduction 30
Empêcher la production de déchets : chimie écologique 31
Approches axées sur une chimie écologique 32
Catalyseurs de remplacement 32
Conception informatisée de méthodes de synthèse 32
Solvants de remplacement 32
Élaboration de programmes d'étude 32
Gestion des matériaux 33
Une approche écosystémique 34
Résultats et recommandations 34
1.1.5 Résultats de l'atelier 35
Généraux 35
Évaluation quantitative 35
Modification de l'Accord relatif à la qualité de l'eau dans les Grands Lacs 35
Extension du concept 35
Technologie 35
1.1.6 Recommandations du Conseil de la qualité de l'eau des Grands Lacs 36
1.1.7 Recommandation du Conseil consultatif scientifique et du Conseil de la qualité de l'eau 36

1.2 EXAMEN DES PROGRÈS DANS L'INDUSTRIE DES PÂTES ET PAPIERS 37
1.2.1 Introduction 37
1.2.2 Intérêt de la Commission mixte internationale dans l'industrie des pâtes et papiers 38
1.2.3 Caractérisation des effluents : évaluation des risques éventuels 39
Essais de toxicité aiguë et chronique 39
Composés halogénés adsorbables (AOX) et analyse des contaminants à l'état de traces 40
Dioxines et furannes 41
Test d'induction d'oxygénase à fonction mixte (hydroxylase) 43
1.2.4 Technologie de réduction du bois en pâte et de blanchiment 44
Technologie de réduction du bois en pâte 44
Procédé kraft 44
Réduction en pâte mécanique 44
Réduction en pâte chimique ou thermomécanique 44

Technologie de blanchiment 45
Chlore sous forme moléculaire 45
Dioxyde de chlore 45
Délignification à l'oxygène 45
Peroxyde d'hydrogène 45
Ozone 45
1.2.5 Mise en place d'une technologie visant la conformité aux règlements existants et futurs en matière d'environnement 46
Blanchiment exempt de chlore moléculaire 46
Blanchiment entièrement exempt de chlore 46
Usine de pâte exploitée en circuit fermé 46
1.2.6 Rejets Rendement et améliorations 47
1.2.7 Résultats 47
1.2.8 Recommandation 50

1.3 PESTICIDES DES CULTURES EN LIGNE ET ENJEUX CONNEXES EN AGRICULTURE 50
1.3.1 Contexte 50
1.3.2 Activités du Conseil par rapport aux priorités relatives au lac Érié pour 1993-1995 53
1.3.3 Conclusions et recommandations formulées au cours de l'atelier 55

1.4 LES EAUX SOUTERRAINES DANS LE BASSIN DES GRANDS LACS 56
1.4.1 Conclusions et recommandations 57
1.4.2 Recommandation du Conseil de la qualité des eaux des Grands Lacs 58

1.5 ORIENTATIONS FUTURES 58

1.6 BIBLIOGRAPHIE 59

1.7 MEMBRES DU CONSEIL DE LA QUALITÉ DE L'EAU DES GRANDS LACS 62

TABLEAUX

1. Estimation pour 1993 de l'apport dans les Grands Lacs des PCDD/PCDF provenant des effluents liquides rejetés directement par les usines de pâtes et papiers qui utilisent des procédés à base de composés chlorés (n). 42
2. Rejets de polluants classiques par l'industrie des pâtes et papiers dans le bassin des Grands Lacs 48

FIGURES

1. Installations de pâtes et papiers dans le bassin des Grands Lacs 37
2. Aperçu des procédés de fabrication des pâtes et papiers 45
3. Utilisation de pesticides pour la culture du maïs en 1993 51
4. Utilisation de pesticides pour la culture du soya en 1993 51
5. Utilisation de pesticides pour les cultures de maïs et de soya en 1993 52
6. L'atrazine dans les Grands Lacs 53
7. Schéma illustrant certains facteurs qui influent sur la qualité des eaux souterraines dans le bassin du lac Érié 57

1.0 ACTIVITÉS DU CONSEIL DE LA QUALITÉ DE L'EAU DES GRANDS LACS

Introduction

Le Conseil de la qualité de l'eau des Grands Lacs, à titre d'intervenant dans l'élaboration et la mise en oeuvre des *Priorités de la Commission mixte internationale pour les Grands Lacs 1993-1995*, a participé directement à la l'étude des questions relatives à la prévention de la pollution, à l'industrie des pâtes et papiers, aux eaux souterraines et aux pesticides, et décrites dans le présent chapitre. Par ailleurs, le coprésident canadien du Groupe de travail sur le lac Érié siège au Conseil de la qualité des eaux, lequel a également délégué un représentant au sein du Groupe de travail sur les indicateurs d'évaluation et du comité directeur pour l'Annexe 2 (PAC et PGT).

Des membres désignés du Conseil ont aussi formulé des commentaires substantiels concernant le processus décisionnel avec information limitée et les priorités mentionnées dans la partie traitant du programme de réduction des substances toxiques, sous la direction du Conseil consultatif scientifique.

On trouvera ci-après un aperçu des quatre priorités pour lesquelles le Conseil de la qualité de l'eau joue un rôle de premier plan : 1) prévention de la pollution, 2) pâtes et papiers, 3) pesticides, 4) eaux souterraines.

1.1 PRÉVENTION DE LA POLLUTION : SITUATION ACTUELLE ET DÉFIS PERMANENTS

1.1.1 Introduction

Presque tous les organismes se trouvant dans le bassin des Grands Lacs reconnaissent qu'une nouvelle orientation vers la prévention de la pollution est encore indiquée dans la poursuite de l'objectif visant l'élimination virtuelle de substances toxiques persistantes préconisée par l'*Accord relatif à la qualité de l'eau dans les Grands Lacs*. Bien qu'il existe plusieurs définitions de la prévention de la pollution, cette expression désigne généralement l'application active de procédés, de pratiques, de matériaux et d'utilisations de l'énergie qui évitent ou réduisent au minimum la production de polluants et de déchets.

Conformément aux priorités de la Commission pour la période de 1993 à 1995, le Conseil de la qualité de l'eau des Grands Lacs et le Conseil consultatif scientifique, qui relèvent de la Commission mixte internationale, ont organisé un atelier visant à examiner les enjeux fondamentaux liés à la prévention de la pollution. À cette occasion, les participants ont examiné les initiatives en cours en matière de législation, les programmes et projets connexes, les considérations émergentes et les défis à long terme liés aux aspects technologiques, sociaux et culturels ainsi qu'aux efforts de recherche et développement. L'atelier a pris place à Ann Arbor, Michigan, les 29 et 30 mars 1995. Le présent chapitre tient lieu de compte rendu de cet atelier et présente également en introduction un exposé sur les événements qui ont marqué l'histoire et l'évolution de la prévention de la pollution.

La prévention de la pollution représente un jalon dans la maturation de la gérance environnementale. Elle est souvent perçue comme étant le début d'une transition succédant à l'approche de surveillance réglementaire de la fin des années 60 et dans les années 70, qui était le plus souvent de nature réactive et reposait sur le déploiement de stratégies de lutte «au point de rejet» et sur des techniques d'élimination connexes.

L'une des premières initiatives importantes mises en oeuvre par une société et axées sur la prévention de la pollution a été entreprise par la *3M Corporation* en 1975. Cette initiative appelée *Pollution Prevention Pays Program* (La prévention de la pollution : un programme payant!) comportait quatre volets principaux : i) nouvelle formulation des produits, ii) modification des procédés, iii) nouvelle conception de l'équipement, iv) récupération et réutilisation des rebuts. La société 3M estime qu'en moins de trois ans, le programme a rendu possible des économies s'élevant à 17 millions $ dans le cadre de ses activités aux États-Unis (Thomas Zosel, atelier).

De même, en 1973, le *Surplus Products Group* de l'*Union Carbide*, qui commercialise des rebuts et des sous-produits industriels, a réalisé un profit de 1,2 million $ sous forme de revenus et d'économies. À peu près à la même époque, *Dow Canada* et *Diversey Canada* ont transformé un déchet pulvérisé résultant d'un procédé sidérurgique pour en faire un produit final de qualité, évitant ainsi l'enfouissement en décharges de 4,5 millions de kg (10 millions de livres) de rebuts et permettant leur utilisation dans des applications utiles (*Pollution Probe*, 1982).

La promulgation en 1984 des modifications à la ***Resource Conservation and Recovery Act*** (RCRA) des É.-U. au chapitre des déchets dangereux et solides (***Hazardous and Solid Waste Amendments***) représente un jalon important sur le plan législatif. En vertu de ces modifications, l'**Environmental Protection Agency** (EPA) se voit confier le mandat d'élaborer des exigences obligatoires visant l'adoption de techniques de prévention de la pollution. À la fin des années 80, l'**Office of Technology Assessment** (OTA), qui relève du Congrès américain, démontre la nécessité de cette approche modifiée, précisant qu'en dépit des nombreux avantages sur les plans environnemental et économique liés à la réduction des déchets, plus de 99 % des dépenses du gouvernement fédéral et des États en matière d'environnement sont consacrés à la lutte contre la pollution après la production des déchets, moins de 1 % de ce budget étant affecté à la réduction de la production de déchets. La **Pollution Prevention Act** adoptée en 1990 par les États-Unis découle de ces modifications et des commentaires de l'OTA, sous l'égide du Congrès.

Au chapitre de la prévention de la pollution, on observe une filiation évidente au Canada avec la *Loi sur les contaminants de l'environnement* de 1974, qui visait le passage de la lutte contre la pollution à la prévention. L'adoption de la *Loi sur la prévention de la pollution des eaux arctiques* à la même époque et les efforts visant à bannir complètement l'emploi de substances données ou à interdire certaines pratiques représentent d'autres aspects des mesures du gouvernement fédéral reflétant une approche préventive (Verstey, 1993).

L'évolution de ce dossier au Canada a marqué son point culminant dans un appel lancé en novembre 1993 par le **Conseil canadien des ministres de l'environnement** (CCME) en vue d'un engagement national pour la prévention de la pollution. Le tableau suivant révèle les principales mesures prises par les organismes en place en vue d'appliquer une approche axée sur la prévention de la pollution.

Après la parution du *Rapport du Groupe de travail sur l'élimination virtuelle (CMI)* et du septième rapport biennal de la CMI, dans le cadre du cycle biennal d'établissement des priorités de la CMI pour 1993-1995, le Conseil de la qualité de l'eau (CMI) a reçu le mandat de présenter un aperçu de l'application et de l'efficacité des programmes de prévention de la pollution à l'échelle nationale, étatique, provinciale ou autre et visant la réduction et l'élimination du rejet de substances toxiques persistantes dans le bassin, comme le préconise l'*Accord relatif à la qualité de l'eau dans les Grands Lacs* (l'Accord).

Principales mesures choisies par les organismes en place visant l'application d'une approche axée sur la prévention de la pollution

- Les améliorations au niveau de l'entretien p. ex., s'assurer que les procédures d'utilisation courante minimisent les risques de déversements accidentels et englobent l'entretien préventif.
- Les changements touchant les moyens de production : p. ex., réduire la pression dans les conduits sous haute pression afin de diminuer les risques d'émissions fugitives de produits toxiques volatils.
- Le prolongement de l'utilisation, la réutilisation et le recyclage dans un procédé : p. ex., réutiliser les métaux dans un bain de rinçage dans le réservoir de placage en galvanoplastie.
- La modification de la composition ou de la conception de produits : p. ex., nouvelle formulation de l'essence en vue de réduire les émissions de composés organiques volatils dans l'air.
- Le remplacement des produits chimiques toxiques par des substances non toxiques ou moins toxiques : p. ex., remplacer certains revêtements à base de solvant par des revêtements à l'eau.
- Élimination de l'emploi de substances cibles données.

(Rapport final du Groupe de travail sur la législation en matière de prévention de la pollution. Environnement Canada, septembre 1993)

Le Conseil a donné suite à cette demande et a collaboré à la préparation d'une récapitulation de certains programmes et initiatives de divers gouvernements concernant le rejet de produits chimiques toxiques persistants dans le bassin des Grands Lacs.

Dans l'établissement des priorités, on a demandé au Groupe de travail sur les questions émergentes du Conseil consultatif scientifique d'évaluer le rôle de la technologie dans l'atteinte des objectifs de l'Accord. Par la suite, les deux conseils ont coparrainé un atelier sur la prévention de la pollution; le compte rendu de cet atelier forme une grande partie du présent chapitre.

1.1.2 L'évolution de la législation en matière de prévention de la pollution

La *Pollution Prevention Act* des É.-U. (1990)

À l'issue de la publication d'une ébauche de politique en matière de prévention de la pollution par l'EPA américaine en 1989, le Congrès des États-Unis a déclaré en 1990 qu'il fallait assurer une prévention ou une réduction de la pollution à la source dans la mesure du possible. La *Pollution Prevention Act* comporte des éléments qui peuvent s'appliquer presque partout au Canada et aux États-Unis, préconisant notamment : i) des méthodes de mesure normalisées, ii) la détermination d'objectifs mesurables, iii) l'amélioration des méthodes de coordination, d'uniformisation et de prestation d'un accès du public aux données recueillies dans le cadre des activités fédérales, iv) des pratiques de diffusion externe et la facilitation de l'adoption de techniques de réduction à la source par le secteur privé grâce à divers mécanismes de soutien, notamment un soutien technique (documents d'orientation, ateliers et autres moyens de formation), des centres d'information et des programmes de subvention, v) l'établissement de mesures incitatives et l'élimination des obstacles à la réduction à la source; vi) l'instauration de programmes de reconnaissance du mérite. Cette philosophie de prévention de la pollution trouve par la suite un écho dans la *Clean Air Act* américaine, réautorisée en 1990.

Reconnaissant l'existence d'un appui considérable résultant de la réglementation en matière de contrôle des effluents, la *Pollution Prevention Act* établit une hiérarchie à quatre niveaux axée sur la protection de l'environnement, la première option (ou la plus souhaitable) étant la réduction à la source de la pollution, suivie, par ordre décroissant de préférence, par le recyclage des déchets, le traitement des déchets et l'élimination des déchets, cette dernière option étant la moins souhaitable. Le programme fédéral piloté en vertu de la Loi était fondé sur un degré élevé d'interaction et de coopération avec les États.

Vers la fin de 1993, le ***General Accounting Office*** (GAO) des États-Unis a examiné la mise en application de la *Pollution Prevention Act*, soit en tout 105 programmes de prévention de la pollution pilotés par des États américains. Quelque 20 % des programmes étaient de nature réglementaire, les autres étant volontaires. Le GAO a conclu que beaucoup de programmes des États ne semblaient pas miser suffisamment sur la première option (la réduction à la source) et insistaient exagérément sur le recyclage, le traitement ou l'élimination des déchets, une approche apparemment incompatible avec la politique établie dans la Loi. Le GAO a également constaté qu'au lieu de viser l'autofinancement, comme la Loi le préconise, bon nombre de ces programmes administrés par les États étaient encore tributaires du financement de l'EPA.

Étant à leur stade initial de mise en oeuvre, très peu de programmes américains axés sur la prévention de la pollution (sous l'égide du gouvernement fédéral ou des États) ont établi des systèmes de production de rapports et d'évaluation qui permettraient de quantifier les réductions. Beaucoup semblent se fier au ***Toxic Release Inventory*** (TRI) pour fournir des mesures quantitatives de l'efficacité des programmes. Ce rapport du GAO, et des rapports antérieurs de l'organisme, signalent des sujets de préoccupation majeurs en ce qui a trait à l'utilisation du TRI pour la surveillance de l'efficacité des programmes visant la réduction de la pollution, car cette base de données n'était pas conçue précisément à cette fin. Les gestionnaires des États ont fait face à plusieurs difficultés, et la plupart n'ont pas encore trouvé de solution de rechange acceptable. La question des mesures quantitatives appropriées fera l'objet d'une discussion plus détaillée ultérieurement.

Le rapport du GAO mentionne des difficultés particulières relativement à la mesure de l'efficacité de programmes administrés par certains États, qu'ils soient considérés isolément ou en comparaison avec d'autres. Il n'existe aucune norme commune d'efficacité, et la plupart des systèmes étatiques de surveillance

sont axés sur l'efficacité et l'exécution des programmes (c.-à-d. le nombre de colloques organisés, le nombre de plans mis en oeuvre, etc.) plutôt que sur la mesure de la réduction des rejets de contaminants toxiques particuliers. Les données actuelles sur les activités et les résultats des programmes sont donc inutilisables aux fins de compilation. Elles ne permettent pas non plus de déterminer l'efficacité de programmes particuliers pilotés par les États. Ces difficultés relatives aux données seraient imputables à plusieurs causes : objectifs de programmes mal établis, souvent axés sur le traitement plutôt que sur la réduction des déchets; manque de formation des intervenants sur le plan de l'évaluation; difficulté d'imposer une production de rapports selon des critères rigoureux dans le cadre de programmes volontaires; faiblesses structurales de la base de données du TRI (*Toxic Release Inventory*), comme on l'a mentionné précédemment. Un examen des renseignements recueillis sur les programmes canadiens laisse penser que la majorité de ces préoccupations sont également manifestes au Canada.

Depuis la fin de l'étude du GAO, le gouvernement fédéral américain a lancé la *Common Sense Initiative*, visant la formation et la participation d'équipes multidisciplinaires axées sur six secteurs industriels (automobile, ordinateurs et électronique, fer et acier, galvanoplastie et traitement des métaux de surface, raffinage du pétrole et imprimerie); globalement, ces secteurs emploient quatre millions de travailleurs, représentent 11 % du produit national brut, dépensent plus de huit milliards de dollars sur la conformité à la loi en matière d'environnement et ont rejeté 180 millions de kilos (395 millions de livres) de polluants toxiques dans l'environnement en 1992.

Dans l'élaboration de stratégies visant la poursuite de la réduction et l'élimination de la pollution toxique provenant de ces sources, les équipes multidisciplinaires, qui comptent des représentants des gouvernements fédéral, des États ainsi que d'administrations locales, en plus de dirigeants d'entreprises et de groupes d'intérêts en matière d'environnement à l'échelle locale et nationale, se pencheront sur l'examen des règlements, les exigences en matière d'établissement de rapports, la conformité, l'examen des licences, et la technologie environnementale, et ce, dans un contexte de prévention de la pollution. On fera la promotion active de la prévention de la pollution en tant que pratique commerciale normale et que principe éthique de la protection de l'environnement (Michelle Jordan, atelier).

Canada Initiatives gouvernementales aux échelons fédéral et provincial

Conformément à la structure politique du Canada, le programme stratégique fédéral de prévention de la pollution repose sur une collaboration étroite avec les provinces. En novembre 1993, le Conseil canadien des ministres de l'environnement a annoncé «*Un engagement national pour la prévention de la pollution*». Dans la région de l'Ontario, avec le précieux concours du gouvernement provincial, on a mis l'accent sur l'établissement de liens avec l'association des fabricants de pièces d'automobiles, la Société des fabricants de véhicules à moteurs, les associations d'imprimerie et d'arts graphiques, ainsi que l'industrie du traitement du métal de surface et de placage de métaux. En outre, des organisations plus modestes, comme des entreprises de nettoyage à sec et certaines municipalités, participent activement au programme.

Une initiative importante du gouvernement provincial de l'Ontario est le **Programme des promesses de prévention de la pollution** (P4), mis en oeuvre en septembre 1993. En vertu de ce programme, les établissements consentent *volontairement* à limiter leurs émissions dans l'environnement à un niveau inférieur au seuil fixé par la réglementation existante. Les diverses organisations sont invitées à établir leurs propres objectifs en matière de réduction de la pollution et à respecter un certain niveau selon une structure à quatre niveaux : i) enregistrement et planification, ii) engagement ou promesse de réduction, iii) réalisation de réductions, iv) réalisations en vue de la prévention de la pollution. Le défi global consiste à réduire de 50 % le rejet de certains produits chimiques toxiques rémanents et bioaccumulables d'ici 1995, et de 90 % d'ici l'an 2000, par rapport aux niveaux de 1990. On peut obtenir une description complète du programme et un manuel à ce sujet; en général, il s'agit d'un processus public. Le premier rapport complet sur l'initiative P4 devrait être publié vers la fin de 1995. Quelques programmes particuliers sont décrits plus en détail dans les pages suivantes.

1.1.3 La prévention de la pollution et les Grands Lacs L'atelier d'Ann Arbor

Comme nous l'avons mentionné précédemment, le Conseil de la qualité des eaux des Grands Lacs et le Conseil consultatif scientifique ont organisé un atelier sur la prévention de la pollution à Ann Arbor, au Michigan, les 29 et 30 mars 1995, dans le cadre de leur exploration des programmes axés sur la réduction des toxiques et de la prévention de la pollution. On trouvera ci-après un bref aperçu de cet atelier.

La prévention de la pollution et l'*Accord relatif à la qualité de l'eau dans les Grands Lacs*

En tant que région possédant l'une des infrastructures économiques les plus développées de l'Amérique du Nord, le bassin des Grands Lacs est le siège d'activités intensives dans les secteurs suivants : agriculture, industrie, transport, énergie, consommation, gouvernement, loisirs et extraction des ressources. Bon nombre des installations, en particulier dans le domaine de l'extraction, du traitement et de la fabrication, sont considérées comme ayant atteint leur niveau d'expansion maximale. En conséquence, bien qu'il existe de grandes possibilités d'appliquer les techniques de base axées sur la prévention de la pollution au stade de la conception des procédés pour des nouveaux établissements ou ceux qui ont subi une conversion radicale, d'autres techniques moins élémentaires comme la substitution de matériaux intermédiaires et l'amélioration du confinement (y compris les pratiques en cycle fermé), se prêtent souvent mieux à la mise en oeuvre à court terme dans plusieurs secteurs.

L'*Accord de 1978 relatif à la qualité de l'eau dans les Grands Lacs* conclu entre le Canada et les États-Unis demande à ces nations et aux provinces et États qui s'y rattachent d'établir des programmes visant à réduire et à *prévenir* (souligné par l'auteur) la pollution provenant de sources municipales et industrielles. La lutte contre la pollution provenant des équipements à terre et au large doit également comporter des «programmes et règlements compatibles pour *empêcher* les déversements de quantités nuisibles d'hydrocarbures et de substances polluantes dangereuses». En ce qui a trait à la pollution causée par la navigation, on

a également préconisé la prévention de la pollution pendant le chargement, le déchargement et la manutention des marchandises à bord des navires. Ces éléments ont été retenus dans le Protocole signé en 1987 par les États-Unis et le Canada et modifiant l'Accord.

L'une des fonctions de la Commission mixte internationale consiste à évaluer la mise en oeuvre de l'Accord et, ce faisant, elle a mis l'accent au cours des dernières années sur l'élimination des rejets de substances toxiques persistantes qui s'accumulent chez les organismes vivants du bassin. En avril 1990, elle a créé le Groupe de travail de la Commission mixte internationale sur l'élimination virtuelle, chargé d'élaborer une stratégie à cette fin. Dans son rapport, ce groupe de travail formule (p. 44) des craintes selon lesquelles «la grande majorité des lois concernant les Grands Lacs se fondent sur la démarche de lutte contre la pollution selon laquelle on juge acceptable un certain niveau de rejet pour toutes les substances chimiques. La démarche des gouvernements est généralement axée sur la ***lutte contre la pollution*** (plutôt que sur la prévention), se concentre sur les ***rejets*** (plutôt que sur les utilisations) et tente de déterminer des niveaux ***acceptables*** (plutôt que des exigences en matière d'élimination)».

Dans ses délibérations, le Groupe de travail précise que la prévention vise à éviter au départ l'utilisation ou la production de déchets par la modification des procédés, la reformulation des produits, et la substitution de matières premières... L'objectif est l'emploi de procédés de fabrication propres, le recyclage en circuit fermé et l'élimination de l'utilisation et de la production de substances toxiques rémanentes. Dans son septième rapport biennal, la Commission elle-même a approuvé la stratégie visant l'élimination virtuelle et son appel à la prévention de ces rejets.

L'une des premières questions abordées par le comité directeur de l'atelier du CQE/CCS consistait à définir l'expression «prévention de la pollution». Conformément à la *Pollution Prevention Act* de 1990, l'EPA définit la prévention de la pollution comme étant «l'utilisation de matières, de procédés ou de pratiques qui réduisent ou éliminent la création de polluants ou de déchets à la source [traduction non officielle]». Cette notion comprend des pratiques contribuant à réduire l'utilisation de matières dangereuses, d'énergie, d'eau ou d'autres ressources ainsi que des pratiques visant la protection des ressources naturelles par la conservation et une utilisation plus efficace. Contrairement aux définitions de la réduction des déchets, celle de la prévention de la pollution n'englobe pas les activités de recyclage en dehors du site de fabrication ni toute pratique qui modifie les caractéristiques physiques, chimiques ou biologiques ou la quantité de substances dangereuses, de polluants ou de contaminants au cours d'un procédé ou d'une activité qui ne fait pas partie intégrante de la production d'un bien ou de la prestation d'un service, et n'y est pas nécessaire.

La législation fédérale américaine est axée sur la ***réduction à la source***, tandis que beaucoup d'initiatives législatives des divers États mettent l'accent sur la ***réduction de l'utilisation des substances toxiques***. Bien que certains perçoivent cette dernière orientation comme étant une approche plus globale en vue d'éliminer un contaminant en particulier de l'écosystème, d'autres signalent qu'elle peut être considérée comme une démarche limitée, qui se restreint souvent à une liste de produits chimiques toxiques et à des procédés de fabrication précis.

En vertu du *Programme des promesses de prévention de la pollution*, le ministère de l'Environnement et de l'Énergie de l'Ontario désigne par prévention de la pollution toute action qui réduit ou élimine la création de polluants. Cette prévention se concrétise par des activités qui contribuent à la promotion ou à la réalisation de changements dans des pratiques sur le plan du fonctionnement ou du comportement dans les établissements industriels, commerciaux ou institutionnels, ou chez les particuliers qui sont à l'origine d'une forme de pollution. Cette définition n'englobe pas la substitution d'une certaine substance à une substance toxique, le traitement, le recyclage en dehors du cycle de fabrication, l'incinération ou le transfert d'un milieu à un autre. La prévention de la pollution se traduit par la substitution de matières premières, la reformulation des produits, la nouvelle conception ou la modification des procédés de fabrication, le recyclage à l'intérieur du cycle de fabrication ou l'amélioration de l'entretien préventif et de l'exploitation.

Un examen effectué pour le compte d'Environnement Canada a porté sur les lois de 23 États et à permis de relever jusqu'à 10 termes distincts qui seraient synonymes de «prévention de la pollution», notamment réduction des déchets dangereux, réduction des déchets, réduction à la source, minimisation des déchets, réduction de l'utilisation des toxiques, prévention de la pollution toxique.

Beaucoup considèrent que la prévention de la pollution est un concept général, fondé sur le principe de la réduction et de la minimisation des déchets, combiné à l'intégration de produits et de procédés.

Larry Ross, de l'*American Institute of Chemical Engineers Centre for Waste Reduction Technologies* a proposé une définition «idéale» de la prévention de la pollution, soit «un ensemble d'activités ayant le potentiel de transformer une industrie aux procédés à forte consommation de matières en des systèmes qui utilisent les combustibles et les matières premières de façon très efficiente, nécessitant des apports à faible coût environnemental, générant peu ou pas de déchets, recyclant les résidus et ne rejetant que des effluents sans danger.»

1.1.4 Survol du programme relatif au bassin

Bien que le présent rapport ne vise pas à fournir un compte rendu détaillé des programmes de prévention de la pollution concernant le bassin des Grands Lacs, nous en signalerons quelques-uns afin de donner un aperçu des industries en cause, de la démarche adoptée et des résultats obtenus.

Des initiatives amorcées dans le secteur des constructeurs d'automobiles, tant par les producteurs primaires que par leurs fournisseurs, sont représentatives des activités industrielles menées de part et d'autre de la frontière séparant le bassin des Grands Lacs. Du côté américain, un programme volontaire a été entrepris en 1991 par l'*American Automotive Manufacturers Association* et le *Michigan Office of Waste Reduction Services*, administrant le projet pour le compte des huit États riverains des Grands Lacs et du gouvernement fédéral.

Dès le début de 1994, 16 projets distincts s'inscrivant dans le cadre de ce programme ont permis de réduire de 20 % les rejets de substances toxiques rémanentes dans les Grands Lacs, et de

diminuer de 28,9 % le rejet de substances toxiques par les fabricants, qui est passé à moins de 1 kg (2,2 lb) par voiture fabriquée (*Automotive Pollution Prevention Project: Progress Report*).

Parallèlement, au Canada, l'Association des fabricants de véhicules à moteur, de concert avec Environnement Canada et le ministère de l'Environnement et de l'Énergie de l'Ontario, a donné le coup d'envoi à plusieurs initiatives. L'une d'elles, qui visait l'élimination du chlorure de méthylène des décapants, a débouché sur des économies de 37 % et l'élimination de 63 000 litres (17 000 gallons) par année de chlorure de méthylène, le tout avec des investissements minimes. La réduction des rejets de substances toxiques depuis la mise en route du programme serait estimée à 2 millions de kilogrammes (Ron Shimizu, atelier).

Le déploiement des efforts dans ce domaine s'est maintenant appliqué au traitement des métaux de surface et à d'autres installations de fabrication de pièces de véhicules automobiles. Des réductions importantes ont été enregistrées dans ces deux domaines.

Programme binational : le lac Supérieur

En réponse au défi lancé par la Commission en 1989 en vue de faire du lac Supérieur une zone de démonstration pour un projet pilote visant le zéro rejet, les gouvernements fédéraux du Canada et des États-Unis ont collaboré avec le Michigan, le Minnesota, le Wisconsin et l'Ontario pour élaborer le programme binational du lac Supérieur, dont la prévention de la pollution fait partie intégrante. Parmi les initiatives particulières prévues, mentionnons l'élaboration d'une stratégie coordonnée de prévention de la pollution entre l'EPA américaine et les trois États riverains du lac Supérieur (Minnesota, Michigan et Wisconsin). L'industrie des pâtes et papiers représente un point de convergence de ces efforts puisqu'elle donne lieu à la mise au point et à la démonstration, avec l'appui des gouvernements canadien et ontarien, d'un procédé pilote de blanchiment de la pâte kraft sans recours au chlore, à Red Rock (Ontario).

On a également tissé de nombreux liens à l'échelle locale, en particulier grâce à un soutien technique direct en vue d'améliorer l'exploitation d'installations d'épuration des eaux usées au moyen de nouveaux efforts de pré-traitement visant à limiter ou à éliminer des apports de substances toxiques aux installations. Des stratégies semblables de pré-traitement ont également visé les activités de collecte de déchets dangereux et l'élaboration de plans communautaires visant à empêcher le rejet d'autres polluants et à réduire la pollution existante.

L'expérience européenne

Plusieurs organismes à caractère multisectoriel, notamment l'**Organisation de coopération et de développement économiques** (OCDE), le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) et le Fonds des Nations Unies pour le développement industriel, se sont penchés sur l'enjeu de la prévention de la pollution, soit directement, soit dans le cadre de technologies écologiques ou de considérations concernant le développement durable.

L'**Organisation du Traité de l'Atlantique Nord** (OTAN) a commandité une étude appelée *Pollution Prevention Strategies for Sustainable Development* mettant à contribution 14 pays dans un programme d'échange d'information sur la politique de prévention de la pollution, ainsi que sur l'éducation et la technologie ayant trait au domaine.

Une tendance dominante en Europe est celle de la «production propre», qui est perçue comme étant un préalable nécessaire au recyclage propre. Cette approche se reflète même à l'échelle individuelle, dans les résidences; en Hollande, tous les ménages sont maintenant tenus de trier les restes de table en vue du compostage intensif. Le Danemark envisage, comme composante majeure de sa stratégie de prévention de la pollution, l'exploitation d'installations productrices d'énergie à partir de déchets, alimentées en partie par des déchets ménagers soigneusement triés (Hans H. Christensen, atelier).

En 1990, à l'issue d'une analyse de large portée sur le cycle de vie, le gouvernement de la Suède s'est orienté vers une nouvelle stratégie interdisant l'utilisation ou visant l'élimination graduelle de produits dangereux. Parmi les premiers produits examinés aux fins d'une interdiction rétroactive se trouvait **le polychlorure de vinyle** ou PVC. La recommandation présentée au gouvernement suédois visait l'élimination progressive du PVC d'ici l'an 2000, malgré la présence, en Suède, de deux millions de tonnes de produits contenant du PVC accumulé, et d'environ 350 000 tonnes dans les décharges. De plus, étant donné que 200 000 tonnes de produits électriques et électroniques sont mis au rebut chaque année, une majorité d'entre eux par voie d'incinération, l'agence suédoise de protection de l'environnement a soumis au gouvernement de ce pays un projet de loi qui obligerait les fabricants et les importateurs à assumer la responsabilité de ces produits à compter de 1998 (Beverley Thorpe, atelier). L'objectif est d'assurer à 85 % du poids la gestion des déchets électriques et électroniques de façon plus écologique d'ici l'an 2000 (*Business and the Environment*, 1995).

En général, plusieurs gouvernements adoptent ou projettent d'adopter des lois fiscales fondées non plus sur les revenus et les profits, mais sur l'utilisation des ressources et la génération de pollution. D'autres mettent en place des mesures d'incitation en vue de l'utilisation de technologies novatrices de lutte contre la pollution. Par exemple, les Pays-Bas permettent aux sociétés qui investissent dans ce type de technologies de déduire des revenus imposables le plein montant des dépenses dès la première année, plutôt que de l'amortir sur la période habituelle de dix ans (*Focus: National Center for Manufacturing Sciences*, 1995).

En Allemagne, une loi adoptée en 1986 et portant sur les déchets exige de certains fabricants qu'ils récupèrent leurs produits une fois qu'ils ne sont plus utiles. Depuis peu, des fabricants de grande envergure, comme Xerox, encouragent la location de produits qui seront finalement retournés au fabricant, de sorte que les boîtiers et d'autres pièces pourront servir à la production de modèles plus récents. L'industrie de l'automobile pratique une gérance analogue des produits, notamment le retour possible des véhicules usagés au fabricant, qui les démonte et les recycle en nouveaux produits. Deux autres tendances consistent à réduire le contenu de matières polluantes dans les déchets, permettant ainsi un recyclage plus poussé, et à diminuer la quantité de déchets ménagers en réduisant le volume des emballages.

Discussions pendant l'atelier

La prévention de la pollution dans l'Accord

Au cours de l'atelier sur la prévention de la pollution tenu en mars 1995 à Ann Arbor, on a demandé aux participants d'examiner une série de questions, dont l'une était la suivante : «Est-ce que l'Accord actuel aborde de façon appropriée la politique de prévention de la pollution et fournit une possibilité suffisante de coopération et de collaboration binationales?»

Comme nous l'avons mentionné plus tôt, les participants sont d'avis que la prévention de la pollution est enchâssée dans l'Accord, et que le Groupe de travail de la Commission mixte internationale sur l'élimination virtuelle la considère comme une technique importante dans l'atteinte de l'élimination virtuelle des substances toxiques. La prévention de la pollution est perçue comme faisant partie d'un ensemble de programmes et d'options, dont aucun ne doit appuyer des pratiques incompatibles avec la prévention de la pollution. Un rôle possible de la CMI serait de recommander certains principes auprès des gouvernements canadien et américain, à titre de clarté et d'orientation, y compris peut-être un ensemble d'objectifs précis en vue de la prévention de la pollution dans la collectivité du bassin des Grands Lacs. Un code d'éthique au chapitre de la prévention de la pollution pourrait faire partie des résultats visés. Ces propositions pourraient prendre forme dans un rapport biennal ou spécial de la Commission.

Une autre question posée au cours de l'atelier était la suivante : «Les gouvernements réalisent-ils les intentions et le but de l'Accord dans le domaine de la prévention de la pollution?»

Plusieurs approches actuelles, tant volontaires qu'obligatoires, ont été examinées. Parmi les observations préliminaires formulées, mentionnons les suivantes :

- les règlements sont un préalable nécessaire à des programmes volontaires efficaces;
- la prévention de la pollution repose sur une assise qui s'étend au-delà du gouvernement et de l'industrie pour atteindre tous les paliers de la société;
- les programmes devraient être assortis de buts et d'objectifs clairement définis, élaborés selon les besoins, dans un contexte mondial;
- on insiste sur l'importance de l'appui du gouvernement et de ses efforts d'éducation au chapitre de la prévention de la pollution en général, y compris ceux qui sont liés à l'utilisation de l'énergie, comme faisant partie des moyens de promouvoir et d'encourager la mise au point d'une technologie propre et d'une production propre.

Certaines inquiétudes ont été exprimées en ce qui a trait précisément au programme américain selon lequel, en période d'austérité budgétaire, les États peuvent décider de ne pas effectuer le transfert des initiatives liées aux programmes initialement financés par le gouvernement fédéral, comme le prévoyait au départ la législation sur la prévention de la pollution. Certains ont également proposé que la Commission questionne les États-Unis et le Canada relativement à la mise en oeuvre des nouvelles mesures budgétaires et de déréglementation, et à leurs effets sur les programmes de prévention de la pollution.

Caractéristiques générales des programmes de prévention de la pollution

Les caractéristiques généralement acceptées de la prévention de la pollution et des programmes connexes sont les suivantes :

- une concentration sur la réduction à la source et l'application à l'intérieur du cycle de fabrication;
- l'accent mis sur une perspective multimilieux par opposition aux approches antérieures axées sur un seul milieu;
- l'exclusion ou la diminution du traitement des déchets ou de la lutte contre la pollution, y compris le recyclage en dehors du cycle de fabrication et l'incinération ou la combustion sans récupération de l'énergie ou du produit;
- la prestation d'un soutien technique, notamment des conseils techniques sur place, la formation et la sensibilisation par des moyens comme des centres d'information et des bulletins;
- l'interaction volontaire avec les sources de pollution;
- l'établissement par les installations participantes de plans et d'objectifs avec des résultats mesurables et des exigences quant à la production de rapports;
- l'exploration de moyens visant à fournir directement au public des données sur les résultats des plans;
- l'utilisation d'autres options de diffusion externe, comme des programmes de récompenses, afin d'encourager une participation accrue.

(Groupe de travail sur la législation en matière de prévention de la pollution)

Parmi les principaux obstacles à des programmes efficaces de prévention de la pollution, on a mentionné ceux que la législation américaine comporte et qui pourraient donner suite à certaines initiatives volontaires de prévention de la pollution par le signalement des sites de déchets dangereux conformément à la *Resource Conservation and Recovery Act*. On a également insisté sur la nécessité pour le gouvernement de continuer à mettre l'accent sur ses propres pratiques.

Des participants sont d'avis que pour l'instant, il n'est pas justifié de déployer des efforts extraordinaires visant la réouverture de l'Accord et sa modification afin de refléter davantage une approche axée sur la prévention de la pollution. Cependant, étant donné qu'une renégociation de l'Accord serait très possible dans les prochaines années, on devrait saisir toute occasion de renforcer le volet prévention de la pollution. Parallèlement, le Conseil de la qualité de l'eau des Grands Lacs, le Conseil consultatif scientifique et la Commission pourraient encourager les Parties à améliorer encore leur approche de prévention de la pollution et à déterminer une portée binationale pour cette approche en vue de protéger les Grands Lacs par la détermination de besoins précis et l'établissement d'une stratégie pour leur promotion future.

Évaluation des progrès

Un deuxième groupe s'est penché sur la question suivante : «Une évaluation détaillée des activités actuelles de prévention de la pollution dans le bassin des Grands Lacs est-elle faisable et opportune et, dans l'affirmative, comment faut-il procéder pour en évaluer les progrès?»

Comme nous l'avons noté précédemment, l'examen de la question de l'évaluation commence souvent avec l'examen de l'initiative du *Toxics Reduction Inventory* (TRI) pilotée par l'EPA américaine. Pour ce répertoire, mis en place en vertu de la *Superfunds Amendments and Reauthorization Act* (titre III, article 313) de 1986, certains fabricants doivent présenter un rapport annuel à l'EPA sur les rejets courants, dans l'air, le sol et l'eau, de produits chimiques désignés. À son tour, l'agence de protection de l'environnement américaine compile ces données dans le TRI et met celui-ci à la disposition du public sous diverses formes, notamment une base de données informatisée.

L'un des volets du TRI est le programme «33/50», établi en 1988 sous l'égide de l'*Office of Toxic Substances*, U.S. EPA, et représentant un effort volontaire de réduction des rejets à la source visant à réduire le rejet de 17 produits chimiques particuliers. L'objectif établi consistait à diminuer les rejets globaux, les faisant passer de 0,64 milliard de kilogrammes (1,4 milliard de livres) en 1988 à 0,32 milliard de kg en 1995, soit une réduction de 50 %. On visait une réduction intermédiaire de 33 % pour 1992, et les progrès réalisés devaient faire l'objet de rapports annuels du TRI. Jusqu'à présent, plus de 1 300 sociétés participent à cette initiative; l'EPA a déclaré que l'objectif intermédiaire était atteint et elle est confiante de parvenir à la réduction de 50 % en 1995.

Dans la région des Grands Lacs, l'EPA estime que l'objectif de 33 % pour la fin de 1992 a été dépassé, avec des réductions totales de 85 500 tonnes (188 millions de livres). Il semble également que le rendement dépassera l'objectif de réduction de 50 % visé pour 1995 (Michelle Jordan, atelier). Ces réductions ne sont pas toutes attribuables à des activités menées dans le cadre de la prévention de la pollution, mais elles constituent une réalisation très importante.

L'établissement du TRI a précédé l'adoption de l'*U.S. Pollution Prevention Act* de 1990. Reconnaissant que le répertoire n'était pas conçu au départ dans le but de délimiter précisément les initiatives de réduction à la source ou de prévention de la pollution, cette dernière loi comporte des dispositions selon lesquelles les rapports annuels du TRI intégreraient dorénavant un compte rendu sur la réduction à la source des rejets de produits chimiques toxiques et leur recyclage. Ces données doivent également être mises à la disposition du public.

Certaines inquiétudes ont été exprimées quant à l'utilisation du TRI pour quantifier les réductions découlant de la prévention de la pollution. Par-delà la question de la qualité des estimations initiales, certains se préoccupent de la difficulté de s'ajuster à des niveaux de production variables, de la sous-estimation possible de la contribution à long terme des efforts de prévention de la pollution; de la non-disponibilité des appareils de mesure en vue d'évaluer les quantités critiques, des différences d'interprétation entre des installations similaires qui établissent des rapports, et de la capacité de quelques installations de grande envergure de biaiser superficiellement certaines tendances régionales (AWMA Summary, 1992).

En effet, une préoccupation importante concernant le TRI est que celui-ci ne représente qu'une fraction minime (moins de un pour cent) du volume estimé de polluants industriels, plus de 10 milliards de tonnes, produits aux États-Unis tous les ans (David Allen, atelier). Étant donné que le suivi des efforts de prévention de la pollution ne faisait pas partie de son mandat initial, il demeure difficile pour le TRI de distinguer les réductions attribuables à des initiatives de réduction de la pollution de celles qui résultent d'efforts accrus visant à diminuer les rejets par l'application de techniques de traitement des déchets et de lutte contre la pollution. L'utilisation d'un système de suivi des matières est perçue comme étant une méthode beaucoup plus complète de suivi de la situation de polluants en particulier (David Allen, *Critical Review AWMA*, 1993). Malgré ces restrictions, il y a consensus sur le fait que l'accent mis par le public sur la réduction des rejets de polluants en vertu du TRI a eu un effet salutaire marqué sur les sources attribuées.

L'**Inventaire national des rejets polluants** (INRP), qui est une initiative du gouvernement canadien, partage plusieurs caractéristiques avec le TRI. Il s'agit d'un programme volontaire, mis en oeuvre officiellement au printemps de 1994 et qui assure le suivi de 178 contaminants issus de 1 466 installations. Les substances déjà réglementées, comme les pesticides ou les CFC (chlofluorocarbures), ne sont pas compris dans cette liste. Les rejets enregistrés pour 1993 s'élèvent en tout à 225 000 tonnes, les plus importants étant les rejets d'acide sulfurique, de méthanol, d'ammoniac, de cuivre (et de composés du cuivre), de zinc (et de composés du zinc), ainsi que de solvants organiques à base de xylène et de toluène. Ces données sont accessibles au public dans une base de données électroniques.

Le but déclaré de l'INRP est d'encourager l'élaboration de plans visant la prévention de la pollution; puisque les premières données viennent tout juste d'être accessibles, la capacité du système de suivre les progrès découlant de la prévention de la pollution ne peut pas être déterminée immédiatement.

Une autre initiative fédérale au Canada est le programme **Accélération de la réduction et de l'élimination des toxiques** (ARET). Il s'agit d'un programme volontaire élaboré selon un processus multilatéral et orienté sur les contaminants persistants bioaccumulables. Les 14 substances figurant sur la liste A-1 sont ciblées aux fins de l'élimination virtuelle, l'objectif étant une réduction de 90 % d'ici l'an 2000. Pour les 87 autres substances, l'objectif est une réduction à des niveaux inférieurs au seuil de nocivité, la diminution visée à court terme étant de 50 % d'ici l'an 2000. L'année de base proposée pour déterminer les progrès accomplis est 1988.

Dans le premier rapport d'étape du programme ARET, la participation de plus de 200 établissements privés et publics a permis une réduction de 10 300 tonnes des 101 contaminants déterminés depuis 1988. Les émissions de produits chimiques A-1, de priorité élevée, ont été réduites de 49 % pour l'ensemble des utilisateurs, et la réduction totale des produits chimiques inscrits dans le cadre du programme ARET atteint 37 %. Des détails concernant les méthodes d'établissement de rapports sur les progrès enregistrés sont fournis pour chaque société; une majorité présente également des rapports en vertu de l'INRP.

Bien qu'ils soient représentatifs des progrès en vue de réduire les rejets de substances toxiques dans l'environnement, aucun des deux systèmes n'est consacré exclusivement à la quantification des réductions attribuables uniquement à l'approche de prévention de la pollution.

En ce qui a trait à la faisabilité et à la pertinence d'une évaluation détaillée éventuelle des activités courantes de prévention de la pollution dans les Grands Lacs, on a encouragé la Commission à recommander aux gouvernements d'améliorer les capacités en vue de ces mesures précises. Certains sont d'avis qu'il faudrait faire l'examen du rendement de secteurs en particulier afin de déterminer dans quelle mesure l'application de techniques de prévention de la pollution est efficace.

Quant à la façon dont les progrès vers la prévention de la pollution devraient être mesurés, la discussion a d'abord mené à la reconnaissance du fait que l'on ne dispose d'aucune définition ayant fait l'objet d'un consensus sur le concept de la prévention de la pollution. Étant donné l'absence d'une définition unique, il est apparu nécessaire que tout répertoire soit de type multimédia et tienne compte des apports de sources diffuses, y compris de ceux qui sont liés aux dépôts atmosphériques.

Élargissement de l'éventail des activités visant la prévention de la pollution

Parmi les questions posées au cours de l'atelier de mars 1995 sur la prévention de la pollution, mentionnons les suivantes : i) quels sont les facteurs socio-économiques culturels et humains qui ont le plus d'incidence sur les efforts de prévention de la pollution et comment doit-on les aborder en vue de la poursuite des progrès? ii) Est-ce que la prévention de la pollution est suffisamment reconnue par les cadres supérieurs des domaines financier et industriel pour conduire à une nouvelle conception fondamentale de l'équipement et des procédés de fabrication?

Par le passé, les mesures de lutte contre la pollution ont limité les rejets de substances potentiellement dangereuses avant leur introduction dans l'environnement. La reconnaissance du fait que les «polluants préoccupants» existent et présentent une menace continue pour l'intégrité de l'écosystème a débouché sur un virage vers une approche ciblée sur des produits chimiques précis, comportant à la fois des mesures intensifiées de lutte contre la pollution et la réduction de l'utilisation et de la production de ces substances.

Cette orientation a évolué considérablement, passant d'une approche «au point de rejet» à une perspective holistique de la réduction des déchets. Essentiellement, toute production de déchets (c.-à-d. de produits qui ne peuvent pas être réutilisés, soit dans ce cycle de fabrication, soit dans un autre) ou l'utilisation inefficace de l'énergie constituent également une perte de ressources. Il arrive souvent que les recettes soient un élément motivateur de premier ordre encourageant les pratiques actuelles de prévention de la pollution.

Les questions fondamentales et relativement générales qui sont continuellement appliquées à la philosophie de la prévention de la pollution sont les suivantes : Pourquoi y a-t-il production de déchets? Pourquoi les procédés de fabrication ne sont-ils pas plus éconergétiques? Pourquoi n'utilise-t-on pas des matériaux qui permettent d'optimiser la productivité sans entraîner d'effets dommageables sur la biosphère ou la santé humaine? La quête de réponses à ces questions générales a conduit l'industrie à remonter la «filière» jusqu'à la source des déchets. En examinant chaque étape du processus de la conception du produit jusqu'à la perte ultime de son utilité la responsabilité de bonnes pratiques environnementales et sociales peut être partagée entre toutes les parties prenantes dans la transaction, depuis le producteur et le distributeur jusqu'au consommateur (Wayne Pferdehirt, atelier).

Des organisations telles que 3M ont dépassé les exercices collectifs traditionnels d'établissement des priorités en matière d'environnement au profit d'une entente globale de diminution des déchets. Selon ces organisations, les priorités en matière de réduction de déchets liés à des produits chimiques en particulier sont moins souhaitables étant donné qu'elles peuvent exclure certains travailleurs; l'établissement d'un objectif général de réduction des déchets et l'encouragement à une participation individuelle dans chaque domaine d'expertise ouvrent la porte à un sentiment de responsabilité et d'accomplissement pour tous. Au lieu d'avoir dix personnes travaillant dans une «division de l'environnement», qui tentent de trouver des solutions pour des procédés qu'elles ne connaissent peut-être pas très bien, les organisations peuvent maintenant compter, dans certains cas, sur les efforts de milliers de personnes à la recherche de solutions et d'approches pour des problèmes qui, sinon, auraient peut-être pu passer inaperçus (Thomas Zosel, atelier).

Conception en fonction de l'environnement

Depuis peu, la perspective de la prévention de la pollution s'applique aux premières étapes du cycle de vie d'un produit, soit sa conception. L'«écologie industrielle» est devenue la pierre angulaire de cette nouvelle façon de penser; Graedel et Allenby (1995) en donnent la définition de base :

> «... les moyens par lesquels l'humanité peut délibérément et rationnellement viser et maintenir une capacité biotique souhaitable, compte tenu de l'évolution continue sur le plan économique, culturel et technologique. Ce concept nécessite que l'on considère un système industriel non pas de façon isolée, mais dans le milieu où il s'inscrit. Il s'agit d'une perspective des systèmes selon laquelle on cherche à optimiser le cycle complet des matières, à partir des matières brutes jusqu'au produit fini, en passant par les composantes, le produit, le produit usagé, et jusqu'à l'élimination finale. Les facteurs à optimiser comprennent les ressources, l'énergie et les immobilisations.»

En examinant les systèmes industriels comme étant relativement parallèles aux systèmes naturels, au sein desquels toutes les sources disponibles de matières ou d'énergies utiles sont utilisées par certains organismes, les concepteurs ont commencé à prendre en compte le devenir des produits dans les cycles industriels de recyclage et de déchets (Robert Frosch, atelier). On désigne souvent les outils évolués de «conception en fonction de l'environnement» par des expressions comme «conception pour démontage», «conception pour recyclage», «gestion de la totalité du cycle», «de la conception à la conception», «de la conception à la régénération». Chaque approche vise à réduire au minimum la production de déchets par l'intégration de matériaux recyclables, de pièces amovibles, remplaçables ou interchangeables, ou la reprise d'articles qui peuvent être réutilisés dans de nouveaux produits.

En tant que mesure de l'efficacité de ces procédés modifiés, on emploie souvent les **analyses du cycle de vie** (ACV). La **Society of Environmental Toxicology and Chemistry** (SETAC) définit l'ACV comme étant :

> «... un processus objectif visant l'évaluation des coûts environnementaux liés à un produit, à un procédé ou à une activité par la détermination de la nature et de la quantité d'énergie et de matériaux utilisés ainsi que des rejets dans l'environnement, afin d'évaluer l'incidence sur l'environnement de ces utilisations d'énergie et de matériaux de même que des rejets, et afin d'examiner et de concrétiser les possibilités d'améliorations du point de vue environnemental. L'évaluation porte sur la totalité du cycle de vie du produit, du procédé ou de l'activité, englobant l'extraction et le traitement des matières premières; la fabrication, le transport et la distribution; l'utilisation, la réutilisation et l'entretien; le recyclage ainsi que l'élimination définitive.»

Cette «mesure quantitative» permet de dégager certains secteurs donnant lieu à un déséquilibre énergétique et de les prendre en charge, augmentant ainsi l'efficacité de l'ensemble du processus. Chose surprenante, dans bien des cas, l'option qui semble être la meilleure du point de vue environnemental est souvent celle qui nécessite une très grande dépense d'énergie pour l'extraction de matières ou le transport de marchandises, des coûts qui ne sont pas liés au procédé de fabrication proprement dit, mais qui s'ajoutent néanmoins au prix final des marchandises ou augmentent le total des ressources utilisées. Il est vital que ces dépenses sur le plan énergétique soient prises en compte dans tout calcul de l'incidence d'un procédé donné sur l'écosystème en général.

Bien que l'analyse du cycle de vie (ACV) ait été prévue au départ pour des produits simples, comme des couches et des verres à eau jetables, l'ACV est envisagée actuellement pour des produits plus complexes, entre autres des postes de télévision et des automobiles, parallèlement à leur développement (Graedel et Allenby, 1995).

Défis sur le plan de l'éducation

Au sein de l'industrie, la réussite d'entreprises comme Motorola et 3M est due en grande partie à des programmes organisationnels d'éducation. Étant donné que l'on doit tenir compte de la grande diversité du niveau d'études des employés, il faut adopter une approche assez différente de celle des établissements d'enseignement universitaire. Au lieu d'organiser des stages de perfectionnement avec un enseignement de type magistral, on doit élaborer des programmes axés sur la pratique ou l'action afin de permettre les interactions de type «formation des moniteurs» (Eagan *et al.*, 1994). Ainsi, les personnes qui possèdent une expertise dans un domaine en particulier peuvent participer de façon optimale aux discussions et aux activités de «prospection d'idées». Chaque employé(e) peut alors offrir ses solutions créatives, fondées sur une bonne connaissance des gains à obtenir et une grande compétence dans le domaine. La formation et l'éducation efficaces représentent un élément vital indispensable à la réussite de tout programme de prévention de la pollution dans toute organisation.

Certains établissements d'enseignement universitaire, comme le *National Pollution Prevention Center* (NPPC) de l'*University of Michigan*, ont adopté une «perspective multisectorielle» (Jonathan Bulkley, atelier) en matière de prévention de la pollution. Les membres du corps professoral intègrent les idéologies les plus récentes en matière de prévention de la pollution dans les programmes d'étude et mettent en lumière la relation entre la prévention de la pollution et des concepts liés à chaque discipline, notamment l'architecture, la chimie, la gestion de l'exploitation, le droit commercial, la comptabilité, le génie chimique, l'organisation scientifique du travail et l'écologie industrielle.

> «Les professeurs de génie, d'administration et de conception industrielle doivent considérer les questions environnementales comme étant un élément important de leurs cours de conception et de gestion. Tant que la valeur de ces thèmes novateurs n'aura pas été reconnue par un grand nombre d'enseignants et d'administrateurs, l'enseignement en ce domaine ne se fera que de façon sporadique.» (Keoleian et Menerey, 1994)

Le NPPC préconise la création d'un réseau national d'éducateurs en prévention de la pollution afin d'agir comme facilitateurs dans l'élaboration et la diffusion de troncs communs de ressources en éducation au chapitre de la prévention de la pollution (Jonathan Bulkley, atelier). On peut se procurer un répertoire national des facultés offrant un enseignement en prévention de la pollution, et représentant une ressource précieuse pour les étudiants et le personnel.

Élargissement du cercle

La prévention de la pollution présente souvent des avantages financiers pour les entreprises et les consommateurs; toutefois, elle est en général régie par un ensemble de valeurs bien établies liées au rendement, soit la détermination d'augmenter l'efficacité, la productivité, la rentabilité et le profit. Ces valeurs traditionnelles liées au rendement, bien qu'elles soient souvent une mesure efficace de l'utilisation de ressources limitées, n'indiquent nullement la façon dont le développement technologique s'intégrera au mode de vie des humains, à la société et à la nature, ni son degré de compatibilité avec ces éléments (Vanderburg et Khan, 1994).

On a souvent tendance à laisser dans l'ombre le contexte sociétal dans lequel s'inscrivent les mesures choisies, alors que celui-ci peut être la source des valeurs mêmes déterminant la nature de l'écosystème qui sera légué aux générations futures. Afin de conserver et de renforcer les améliorations attribuables aux mesures de prévention de la pollution, la priorité accordée aux valeurs humaines, sociétales et écosystémiques doit être supérieure, ou du moins égale, à celle que l'on donne aux mesures traditionnelles du rendement en matière de progrès technologiques. De nos jours, il faut envisager tous les aspects de la conception de lieux de travail sains, de villes saines et durables, de la santé et du mieux-être des travailleurs ainsi que de la qualité de la vie dans les procédés de fabrication (Willem Vanderburg, atelier).

L'intégration de facteurs sociétaux comme mesure supplémentaire du progrès, en particulier dans l'évaluation de l'incidence des analyses du cycle de vie, permet l'établissement d'un équilibre entre les coûts financiers, environnementaux et sociétaux. Dans l'étude des interrelations complexes entre les progrès technologiques et leurs répercussions sur l'homme et la société,

Vanderburg (1995) pose les questions suivantes :

> «L'usine (ou l'installation) sera-t-elle à l'origine d'une fatigue nerveuse accrue? Si oui, quelle sera l'incidence de cette situation sur les employés, sur leurs relations sociales en milieu de travail, dans leur famille et au sein de la collectivité et, par conséquent, sur la structure sociale globale d'une société? De quelle façon les... conceptions influeront-elles sur l'intégrité et la viabilité de l'écosystème où elles seront mises en place?»

En définitive, un processus avantageux sur les plans économique et environnemental, mais qui entraîne une dégradation des valeurs humaines et sociales peut être rejeté en raison de cet impact dommageable plus important.

De nombreuses organisations reconnaissent que l'analyse et l'examen complets du choix des matériaux, de la conception des produits, des stratégies de mise en marché et du devenir ultime des produits sont des éléments d'une philosophie évolutive qui constitue le fondement de la politique future des entreprises.

La réorientation des efforts vers une évaluation des répercussions davantage axée sur la société peut être facilitée si l'on modifie les programmes éducatifs afin qu'ils fassent ressortir de façon plus précise l'incidence de la technologie sur la société. Vanderburg et Khan (1994) ont étudié le programme officiel en ingénierie d'une université nord-américaine de pointe afin de déterminer dans quelle mesure les étudiants apprennent à intégrer une certaine compréhension des répercussions de la technologie sur la vie humaine, la société et la biosphère dans la théorie et la conception en ingénierie afin d'assurer une compatibilité plus grande entre la technologie et le milieu où elle s'applique. Les catégories examinées englobent les cours magistraux, les manuels, les classes dirigées et les laboratoires ainsi que les publications du corps professoral. Sur une échelle de 0 (aucune référence aux questions relatives au milieu) à 4 (référence importante au milieu, assortie d'une évaluation des conséquences), l'ensemble du programme a obtenu une cote de 0,8 seulement, et les publications de recherche, un maigre 0,3. Ce résultat indique que la plupart des cours sont hors contexte (Vanderburg et Khan, 1994) et que le milieu de l'ingénierie continue de produire de nouvelles générations d'ingénieurs qui prendront en compte les répercussions négatives de la technologie sur la vie humaine, la société et l'écologie naturelle selon une approche «rétrospective» ou «au point de rejet» (Vanderburg, 1995).

Les cours, et finalement le processus de fabrication, doivent intégrer des stratégies de prévention visant à réduire ou à éliminer entièrement les effets négatifs par rapport aux valeurs humaines ou sociétales (Vanderburg, atelier). On pourrait avoir recours à une rétroaction négative pour reconnaître et isoler les points faibles d'une conception de façon à permettre d'apporter les correctifs appropriés avant que ces lacunes n'aient une incidence négative sur le résultat. L'intégration de la rétroaction négative à la grandeur de l'entreprise dans la planification stratégique et la mise au point des produits et des services peut déboucher sur des situations satisfaisantes pour toutes les parties visées, à partir de l'entreprise, qui brise le cycle des mesures d'atténuation et réduit ainsi les coûts et la perte d'énergie, jusqu'au consommateur, qui peut investir dans des produits écologiques sans incidence négative sur la santé de sa famille ou de l'écosystème (Vanderburg, 1995).

Si nous déterminons les limites des techniques et des approches actuelles, l'hypothèse selon laquelle celles-ci représentent une solution globale à nos préoccupations en matière de pollution perd réellement de la valeur. Les technologies novatrices évitent les solutions appliquées «au point de rejet»; elles tendent plutôt vers une adaptation constante en vue d'atteindre une situation d'équilibre où les valeurs sociétales appropriées sont prises en compte dans le processus de fabrication.

La technologie, moyen d'action

Introduction

La technologie se définit, au sens large, comme les techniques et les procédés grâce auxquels la société produit tout ce qui est nécessaire à son existence. Elle comprend cinq éléments fondamentaux : outils/machines, énergie, matériaux, compétences et organisation du travail. La combinaison particulière de ces éléments détermine le cheminement technologique de la société et, en fin de compte, son efficacité sur le plan du fonctionnement et de la production de déchets. Selon Nathan Rosenberg (atelier, 1995), l'évolution de la technologie est essentiellement une décision du marché, régie par les forces naturelles de l'économie plus vaste. Étant donné l'abondance relative de l'espace et des ressources naturelles, une industrie naturellement axée sur l'exploitation intensive des ressources s'est établie en Amérique du Nord, utilisant dans la mesure du possible les ressources naturelles plutôt qu'une main-d'oeuvre et des capitaux relativement rares.

L'économie de la région des Grands Lacs illustre cette situation étant donné qu'elle est fondée sur de solides avantages sur le plan des ressources naturelles : eau, charbon, minerai de fer, bois d'oeuvre et gisements de minéraux. La faible proportion d'activités humaines nécessaires pour convertir les ressources brutes en matériaux pour le traitement et la fabrication et finalement la production de déchets, tant sous forme de résidus que de produits désuets, a créé un problème et un défi semblable au paradoxe que représente la technologie en soi : l'économie industrielle génère des produits et des avantages sociétaux, mais elle est également dommageable pour l'environnement et nous fournit des moyens techniques pour réparer ces dommages (Federal Reserve Bank of Chicago et The Great Lakes Commission, octobre 1985; National Academy Press, 1989).

Afin de gérer les changements technologiques de façon à trouver des solutions aux problèmes environnementaux, il faut comprendre le rôle des activités de recherche et de développement, qui visent à promouvoir l'innovation dans le domaine de la technologie, ainsi que la mise au point et la diffusion de technologies. De préférence à un processus linéaire découlant de l'application méthodique de la recherche fondamentale, selon la perspective économique en matière de technologie, les forces du marché seraient étroitement liées au rôle de la technologie. Elles visent d'abord à trouver de nouveaux moyens de mettre des produits sur le marché à faible coût.

> Le processus qui donne naissance à des technologies nouvelles est très différent de la voie inspirée du modèle linéaire; l'une des façons de voir les choses consiste à examiner la structure de l'activité **recherche et développement** (R et D). Dans le cas des activités

de R et D menées aux États-Unis, ce qui nous frappe immédiatement, c'est que ces activités sont pour la plupart axées sur le développement. De fait, depuis maintenant plusieurs décennies, le développement représente à lui seul les deux tiers des activités de R et D. Le douzième de toutes les activités de R et D est orienté sur la recherche fondamentale, soit la recherche pure menée par des chercheurs qui se posent des questions fondamentales sur la nature de l'univers et ne se préoccupent nullement des applications pratiques. Le reste, environ le quart des activités de R et D, correspond aux recherches appliquées.

La majeure partie des activités de R et D vise l'amélioration d'anciens produits. Si l'on demande aux vice-présidents responsables de la recherche dans les grandes entreprises américaines à quelles activités sont affectés les fonds prévus pour la recherche, l'amélioration d'anciens produits ou à l'invention de nouveaux produits, ils répondent qu'environ 80 % des activités de R et D visent à améliorer ou à modifier d'anciens produits, seulement 20 % des activités étant axées sur l'invention de nouveaux produits.

Nathan Rosenberg

Ce sont donc en grande partie les débouchés immédiats et à court terme qui sont le facteur déterminant des activités de R et D menées dans quelque 12 000 laboratoires de recherche scientifique appartenant à l'industrie privée. Compte tenu de cette capacité et de la nature des entreprises dans le secteur de la R et D, il est manifeste que le succès initial des premiers efforts de prévention de la pollution, souvent caractérisés par l'obtention de résultats sans grande difficulté, doit être appuyé par des politiques économiques qui encouragent un comportement du marché fondé sur le coût global pour l'environnement, et par des mesures incitatives pour promouvoir la recherche portant sur le double objectif d'une conception respectueuse de l'environnement : empêcher la production de déchets et améliorer la gestion des matériaux (Congrès américain, *Office of Technology Assessment*, octobre 1992).

Empêcher la production de déchets : chimie écologique

Aux États-Unis, le rôle de la recherche scientifique dans l'industrie chimique est plus étroitement lié à l'innovation, au développement et à la production que dans tout autre secteur industriel. L'industrie chimique comporte en outre une proportion plus importante de recherche fondamentale par rapport à l'ensemble des activités de R et D; en outre, elle se classe au premier rang en ce qui a trait au total des activités de R et D qui sont financées par le secteur privé (Rosenberg, 1994). Parallèlement à la hausse des coûts externes liés aux responsabilités éventuelles en matière d'environnement et à la lutte contre la pollution, la tendance vers la synthèse organique sans danger, c'est-à-dire une méthode visant à éviter la formation de substances dangereuses, crée un champ d'intérêt au-delà de la création de la molécule cible. On accorde maintenant une importance considérable à la gestion des sous-produits d'une réaction, dont beaucoup se retrouvaient autrefois parmi les déchets qu'il fallait gérer, réutiliser, recycler ou finalement rejeter dans l'environnement.

À l'atelier sur la prévention de la pollution, Russell Ferris de l'*Office of Prevention, Pesticides and Toxic Substances*, sous l'égide de l'EPA aux États-Unis, a présenté un aperçu du nouveau secteur de la chimie écologique. Le résumé suivant est fondé en grande partie sur la transcription de son exposé.

L'un des principaux critères d'évaluation des méthodes de synthèse employées pour la fabrication d'un produit chimique réside dans le rendement du procédé. En général, le rendement est considéré comme un bon indicateur du caractère favorable d'un procédé particulier sur le plan thermodynamique dans des réactions ou des conditions de fabrication précises. Du point de vue économique, le rendement constitue évidemment un indicateur important de l'utilisation efficace des matières premières. La sélection d'une méthode de fabrication repose depuis toujours sur le choix de la matière première. Il n'y a aucun doute que ce choix, fondé sur le coût et la disponibilité, et la prise en compte du rendement dans l'évaluation d'un procédé de synthèse continueront d'être des facteurs essentiels dans la fabrication de produits chimiques.

Toutefois, vu l'augmentation des coûts liés à l'élimination et au traitement des déchets ainsi qu'au respect des règlements à cet égard, et compte tenu de l'importance accordée de nos jours à la prévention de la pollution, tant par les organismes de réglementation que par l'industrie chimique, il n'est plus valable de se fonder uniquement sur le rendement maximum pour évaluer une méthode de synthèse donnée. Il faut plutôt concevoir de nouvelles technologies mettant en valeur un procédé respectueux de l'environnement.

Ce domaine de recherche satisfait à la fois les besoins de l'industrie chimique et ceux de la société, qui préconisent l'application du concept de prévention de la pollution, ainsi que les besoins du secteur universitaire, qui vise principalement la recherche fondamentale. La prochaine génération de chimistes spécialisés dans le domaine de la synthèse mettra certainement l'accent sur des méthodes de fabrication de nouvelles structures chimiques, mais ces chimistes seront par ailleurs encouragés à intégrer au choix du procédé toutes les incidences qu'il comporte, tant du point de vue scientifique, économique et social qu'environnemental.

Dans un cadre général axé sur la prévention de la pollution, la conception d'un produit chimique commence par des décisions concernant les questions suivantes :

- Quels seront les déchets dangereux produits?
- Quelles seront les substances toxiques utilisées au cours du procédé?
- Quels sont les contaminants qui pourraient se trouver dans le produit?
- En matière de responsabilité, quelles sont les inquiétudes liées à la fabrication, à l'utilisation et à l'élimination de ce produit?
- Quels seront les coûts liés au traitement des déchets?

En prenant en compte dès le départ toutes les répercussions scientifiques, environnementales et économiques d'un procédé particulier, on peut choisir la méthode appropriée qui aboutira à une prévention réelle de la pollution.

Pendant de nombreuses années, le mouvement environnementaliste et plus particulièrement les organismes de réglementation ont déployé beaucoup d'efforts pour s'assurer que les produits chimiques ne présentent pas de risques inacceptables. Depuis, leur champ d'intérêt s'est élargi au-delà du

produit final pour englober toutes les substances associées au procédé de fabrication. Voici quelque-uns des matériaux à prendre en compte :

- matières premières
- sous-produits et impuretés
- réactifs
- catalyseurs
- milieux de réaction
- solvants de séparation
- produits de distillation

Approches axées sur une chimie écologique

La plupart des produits chimiques commerciaux fabriqués de nos jours aux États-Unis utilisent des matières premières tirées du pétrole. Bien que certains produits pétroliers soient peu dommageables pour l'environnement, beaucoup d'autres, comme le benzène (carcinogène bien connu), sont considérés comme étant assez dangereux. Ces constatations ont stimulé la recherche sur des matières premières autres que le pétrole, par exemple, d'autres produits biologiques de départ qui sont plus facilement renouvelables. En plus de leur cycle de renouvellement à court terme, les matières premières biologiques de ce type, contrairement aux matières premières dérivées du pétrole, sont souvent très oxydées et fonctionnalisées, ce qui permet des transformations plus propres et élimine fréquemment l'utilisation de catalyseurs contenant des métaux lourds.

L'industrie chimique a entrepris un examen des matières premières et des procédés traditionnellement utilisés dans la fabrication de certains de ses produits les plus fondamentaux. Pour la production d'acides aminés aromatiques, la société Monsanto s'emploie à mettre au point une méthode d'amination directe du nitrobenzène au lieu de continuer à utiliser des produits aromatiques chlorés dangereux. Elle continue en outre à produire de l'uréthane et de l'isocyanate à partir du dioxyde de carbone plutôt que du phosgène à toxicité aiguë.

La société Dupont a recours à des procédés de fabrication comportant des techniques de production sur place afin de réduire les risques d'exposition à des substances dangereuses. Ces techniques sont appliquées à des procédés agrochimiques comportant l'utilisation de substances particulièrement toxiques comme l'isocyanate de méthyle.

Catalyseurs de remplacement

Il est généralement reconnu que certains matériaux largement utilisés dans l'industrie chimique présentent de graves dangers. Certains agents de fluoration comme l'acide fluorhydrique sont bien connus à la fois pour leur efficacité et pour les risques qu'ils présentent. Air Products Inc. a mis au point un réactif de fluoration qui ne nécessite pas de manipulation spéciale et permet la fluoration sélective d'une grande variété de substances.

La catalyse est une technique prometteuse permettant d'améliorer non seulement l'efficacité d'un nombre accru de procédés de fabrication chimique, mais également leur caractère inoffensif pour l'environnement. Les recherches sur de nouvelles applications de catalyseurs non classiques permettant de réduire l'incidence sur l'environnement de certains types de réaction expérimentent notamment le recours à l'énergie lumineuse comme catalyseur.

Conception informatisée de méthodes de synthèse

Au cours des vingt-cinq dernières années, l'application de logiciels visant la transformation artificielle de procédés complets a fait l'objet d'essais répétés. Certains de ces programmes informatiques font appel à des bases de données exhaustives, d'autres sont fondés sur une suite d'opérations logiques et d'autres ont recours à l'intelligence artificielle. Aux États-Unis, l'EPA encourage l'intégration de considérations environnementales aux principaux programmes actuels de conception à l'aide de logiciels, tout comme la mise au point de nouveaux logiciels.

Solvants de remplacement

L'incidence sur l'environnement des solvants organiques employés dans la fabrication de produits chimiques soulève des inquiétudes depuis de nombreuses années. Les ***Clean Air Act Amendments*** *(CAAA)* récemment promulgués aux États-Unis placent de nombreux **composés organiques volatils** (COV) couramment utilisés comme solvants sur une liste de produits considérés comme étant des polluants atmosphériques dangereux. Un certain nombre de projets de recherche actuels visent la réduction de la quantité de COV rejetés dans l'environnement par l'industrie chimique.

L'une des solutions envisagées est l'utilisation de **fluides supercritiques** (FSC) comme milieux de réaction. L'utilité de ces fluides comme solvants d'extraction, solvants de nettoyage ou dans les technologies analytiques est bien établie, mais l'utilisation du dioxyde de carbone super-critique (et d'autres FSC) comme milieu de réaction en est encore à ses débuts. L'histoire de réussites récentes signale notamment l'utilisation de FSC comme milieux de réaction dans des réactions de polymérisation, des transformations radicalaires et certaines transformations catalytiques.

Une autre approche se fonde sur l'utilisation croissante de systèmes de réaction en milieu aqueux, de préférence à la procédure établie qui consiste à se servir de solvants organiques pour les transformations artificielles.

L'objectif de la réduction des solvants à base de COV étant largement accepté, une solution de remplacement évidente est le recours accru à une chimie appliquée à la phase solide sans utilisation de solvants. À la fin de ces réactions, on ne trouve pas de solvants parmi les déchets, ce qui favorise l'élimination ou le recyclage ultérieur. La chimie appliquée à la phase solide présente également un autre avantage : les réactions se produisent à des pressions de vapeur très basses, ce qui réduit au minimum l'exposition des travailleurs aux dangers de l'inhalation de produits.

Élaboration de programmes d'étude

L'intégration dans l'industrie chimique de techniques de synthèse respectueuses de l'environnement sera accélérée dans un avenir assez rapproché. C'est pourquoi l'EPA américaine encourage la mise au point et l'utilisation de matériel pédagogique visant à donner officiellement aux étudiants en chimie et dans les domaines scientifiques connexes, à diverses étapes de leur éducation, une formation qui leur permette de tenir compte plus pleinement des répercussions sur l'environnement. Ce matériel comprend notamment :

- Des compléments aux manuels, utilisés en parallèle avec les manuels courants de chimie, mais qui proposent certaines techniques inoffensives pour l'environnement comme solution de remplacement aux techniques standard.

- Un module de référence à l'intention des enseignants, pour qu'ils puissent intégrer à leurs cours les recherches les plus récentes au chapitre des techniques écologiques.

- Des modules de laboratoire qui illustrent les principes expérimentaux régissant la synthèse de produits chimiques inoffensifs pour l'environnement à partir d'expériences effectuées par les candidats au doctorat.

- Une formation professionnelle conçue pour les chimistes de l'industrie afin de leur montrer pourquoi la prévention de la pollution est souhaitable et comment une chimie écologique peut permettre d'atteindre cet objectif.

- Le ***National Center for Clean Industrial and Treatment Technologies*** (CenCITT) fait participer l'industrie, le gouvernement et les établissements d'enseignement universitaire à la mise au point d'outils de conception et de technologies propres qui ouvrent beaucoup de possibilités. Cette initiative comprend trois volets principaux : i) les modes de réactions chimiques, ii) l'utilisation efficace des matériaux et iii) le **Clean Process Advisory System** (CPAS) ou système consultatif portant sur les techniques propres. Le premier vise à restreindre ou à éliminer la création de sous-produits; le deuxième a pour but la réduction ou l'élimination des déchets et la réutilisation de matériaux secondaires, notamment la «conception pour démontage»; le troisième volet, le CPAS, est un cadre national informatisé fournissant des renseignements sur les nouvelles technologies et méthodologies environnementales axées sur la prévention de la pollution, leur coût, leur sûreté et leur conformité aux lois (*Focus*, National Center for Manufacturing Sciences, avril 1995).

La chimie de synthèse ou «chimie écologique» a un rôle important et fondamental à jouer dans le mouvement environnementaliste. Avec le développement et l'acquisition d'une formation, de connaissances et d'une expertise appropriées, on peut choisir ou modifier les procédés de synthèse chimique pour garantir la réduction de leur incidence sur l'environnement. Dans de nombreuses situations, d'autres solutions relatives à la prévention de la pollution ou même des mesures de lutte contre la pollution peuvent convenir; toutefois, la chimie écologique doit être le premier choix et faire partie des premières étapes de la planification en vue de la synthèse d'un produit chimique.

Gestion des matériaux

Une grande partie des déchets solides produits aux États-Unis ne résulte pas directement de la consommation de produits par les particuliers. Les déchets solides urbains, qui suscitent une grande part des inquiétudes du public, représentent moins de deux pour cent de tous les déchets solides régis aux États-Unis par la *Resource Conservation and Recovery Act*. Par ailleurs, les activités industrielles de tous les secteurs produisent chaque année environ 700 millions de tonnes de déchets dangereux et approximativement 12 milliards de tonnes de déchets non dangereux (Congrès américain, *Office of Technology Assessment*, octobre 1992; David Allen, atelier). Aux États-Unis, la production totale de déchets résulte d'une consommation importante de matériaux, accompagnée d'une récupération relativement faible (David Allen, atelier), la plus grande partie des déchets aboutissant dans des décharges ou diverses installations d'incinération.

Pour juger de la valeur des déchets comme matières premières, il est important de considérer à la fois la quantité et la qualité des matériaux par comparaison à l'extraction et au raffinement des ressources vierges. On estime qu'à l'exception du mercure et du plomb, d'importantes quantités de matériaux ne sont pas recyclées. Dans certains cas, cela comprend des quantités de déchets relativement concentrés, qui pourraient être avantageux par rapport aux ressources vierges (David Allen, atelier).

> Le problème, ce n'est pas la gestion des déchets, mais bien la gestion des matériaux, à savoir où ils vont et comment ils sont utilisés. L'une des particularités à ce chapitre, du moins dans le système américain, c'est que, dans le cas des ressources vierges, la circulation de toutes sortes de métaux lourds et de substances toxiques se fait assez facilement, car les règlements assurent une certaine sécurité à cet égard. Toutefois, dès que ces matériaux deviennent des déchets, ils sont régis par des règlements tortueux et compliqués. Il y a quelque chose d'étrange dans ces deux facettes du système : en effet, les deux types de fonctionnement sont très différents, mais ils doivent être reliés en ce sens que du point de vue technologique, l'aspect concernant la production de déchets doit être intégré à l'aspect utilisation des ressources vierges; cependant, notre approche à cet égard est quelque peu paradoxale.
>
> Robert Frosch, *John Fitzgerald Kennedy School of Government*, Harvard University

En examinant les obstacles à l'utilisation efficace des matériaux (vierges ou recyclés), M. Frosch a proposé aux participants à l'atelier sur la prévention de la pollution un moyen mnémotechnique, le mot LOITER, pour désigner les éléments suivants :

Liability	Organization	Information
Technology	Economics	Regulation
pour		
Responsabilité	Organisation	Information
Technologie	Économie	Réglementation

Les obstacles associés à chacun de ces éléments ne se présentent pas nécessairement dans un ordre ou selon un rang précis; ils ont plutôt tendance à s'emboîter les uns dans les autres. Si l'utilisation industrielle d'un matériau donné, ou la réutilisation de ce matériau, est possible sur le plan technique, il se pourrait bien qu'elle ne soit pas réalisable sur le plan économique. Dans le cas où cette utilisation est réalisable sur les plans technique et économique, les renseignements nécessaires pour en appuyer l'acceptation et la pratique ne sont peut-être pas facilement accessibles. Une fois ces problèmes résolus, on peut se trouver face à des obstacles internes ou externes sur le plan organisationnel. Même dans de grandes sociétés bien intégrées, il arrive

souvent qu'en raison d'autres difficultés liées à la gestion ou à l'organisation, la technologie ne réussisse pas facilement à surmonter les obstacles, malgré l'accessibilité des informations. Les mesures incitatives ne sont peut-être pas suffisantes pour permettre la diffusion de la technologie même lorsque celle-ci est économique et que l'on dispose déjà des renseignements visant à en faciliter l'adoption (Robert Frosch, atelier).

Pour parvenir à une utilisation efficace des matériaux et de l'énergie et éviter une circulation à sens unique des matériaux, il est nécessaire d'avoir une perspective globale d'un système industriel évoluant vers un système fermé. Ce système est perçu non seulement par rapport à la réduction et à la gestion des déchets produits par un seul utilisateur, mais plutôt par rapport à l'utilisation séquentielle des matériaux par d'autres secteurs de l'industrie. Cette perception des déchets comme étant des «matériaux» devrait comprendre les résidus et les produits désuets.

Ce genre d'approche préconise un élargissement de la conception d'un produit et d'un procédé de façon à ce qu'elle englobe la conception délibérée de sous-produits et de matériaux de déchet. Par ailleurs, ces matériaux ne sont pas nécessairement réutilisés dans la même installation ou dans la même industrie; ils devraient plutôt être offerts sur le marché et accessibles à tous. L'enjeu n'est pas de savoir si, par hasard, un déchet peut être utile dans un procédé ultérieur, ou comporter un autre avantage, mais plutôt de déterminer si c'est une ressource que l'on peut délibérément mettre à la disposition de tous aux fins de son utilisation dans l'ensemble du système économique industriel, contribuant ainsi à améliorer l'efficacité et la durabilité du système.

> De toute évidence, cette question est très complexe et il est peu probable qu'elle puisse être résolue par la conception réelle du système et des efforts en vue de sa mise en place. Il est plus probable qu'elle évoluera grâce à l'application de mesures incitatives visant à encourager les industries à travailler ensemble à l'élaboration d'un «écosystème industriel» de ce type. La valeur des mesures incitatives en tant que rétroaction revêt une grande importance pour que l'utilisation des matériaux ne soit pas prise en compte uniquement dans le but d'obtenir la meilleure valeur économique pour les matériaux grâce à la conception du produit, mais aussi en fonction de leur réutilisation éventuelle par quelqu'un d'autre. Bien entendu, les mécanismes de réglementation peuvent également contribuer au processus. Je considère la réglementation de la «réutilisation» comme étant simplement un effort visant à introduire un mécanisme de rétroaction dans le système industriel. Cela ne veut pas dire nécessairement que le producteur d'un matériau sera le mieux placé quand on parle de réutilisation seulement. Il est possible que ce soit souvent le cas mais, dans certaines circonstances, c'est ailleurs dans le système qu'il faudra chercher le meilleur moyen de réutiliser le matériau.
>
> Robert Frosch, *John Fitzgerald Kennedy School of Government*, Harvard University

Une approche écosystémique

En matière de prévention de la pollution, diverses échelles ou limites s'appliquent à la conception axée sur le cycle de vie en vue d'une chimie écologique. Voici un bref aperçu de ces limites : (David Allen, atelier)

- Sur une échelle macroscopique :
  conception et évaluations en fonction du cycle de vie, modélisation et écosystèmes à grande échelle. Circulation des matériaux dans les régions et les pays, et relations avec la biosphère.

- Sur une échelle mésoscopique :
  conception nouvelle des procédés, des installations et de leur fonctionnement.

- Sur une échelle microscopique :
  développement à l'échelle moléculaire grâce à une chimie écologique et à des méthodes moléculaires inoffensives.

Ces trois éléments comportent une troisième génération au chapitre de la prévention de la pollution, qui succède aux initiatives de gestion interne et aux technologies de séparation et de substitution de matériaux (David Allen, atelier). Sur une échelle macroscopique, les outils essentiels sont ceux qui sont liés à la mesure de la prévention de la pollution (une question qui a été traitée à une autre étape au cours de l'atelier) et ceux qui permettent d'évaluer la circulation des matériaux par rapport aux produits et aux secteurs, de sorte que les flux de déchets importants puissent être ciblés aux fins de la prévention de la pollution. Sur une échelle mésoscopique, l'élaboration de méthodologies quantitatives d'analyse du schéma de traitement permettant l'analyse systématique des procédés pourrait permettre le transfert d'un résidu obtenu au cours d'un procédé dans un autre procédé, où il servirait de matière première. Une approche de ce type, appelée synthèse par réseau d'échange de masse, pourrait servir de solution de remplacement au rejet nul comme objectif de prévention de la pollution, lorsque ce rejet nul s'avère irréalisable (David Allen, atelier).

Sur une échelle microscopique, des réalisations précises, notamment l'utilisation de revêtements à base d'eau et de la catalyse biologique dans la fabrication de produits chimiques, ainsi que la conception de produits intégrant des normes comme la nouvelle norme ISO 14000, sont toutes applicables.

Résultats et recommandations

Les progrès importants réalisés jusqu'à présent au chapitre de la prévention de la pollution sont attribuables d'abord à l'utilisation sélective d'une technologie éprouvée et d'une gestion améliorée. Cependant, le défi et le potentiel les plus importants résident dans l'innovation ainsi que l'adoption et la diffusion de technologies et d'applications nouvelles dans les secteurs suivants : prévention au chapitre de la production de déchets et gestion des matériaux. En fin de compte, ce dernier facteur comprend les considérations relatives au cycle de vie des produits et constitue le principal élément à considérer en vue de la création d'une économie durable des matériaux. Ce type d'approche nécessite la collaboration du gouvernement et de l'industrie dans le cadre d'un système régional de gestion des matériaux pour les Grands Lacs en vue d'appuyer l'expansion de marchés secondaires comme incitatif à une utilisation efficace des ressources. Ce système de gestion n'est pas envisagé en tant

que pouvoir central responsable de la planification, mais plutôt comme une composante importante du système de marché, qui doit être mise en place par le secteur industriel.

1.1.5 Résultats de l'atelier

Généraux

- Au cours des cinq dernières années, le nombre de programmes décrits comme des programmes de prévention de la pollution instaurés dans le bassin des Grands Lacs a augmenté sensiblement. Tandis que les premières initiatives et structures en matière de réglementation étaient (et demeurent) importantes, on insiste beaucoup aujourd'hui sur les programmes volontaires. De nombreux secteurs de l'industrie et leurs associations industrielles collaborent avec les organismes gouvernementaux à l'échelle locale, provinciale ou fédérale ou dans les États afin d'adapter les plans aux exigences particulières de chaque secteur et installation.

- En se substituant à l'approche «au point de rejet» ou axée sur la lutte contre la pollution, la prévention de la pollution réussit à dépasser le niveau de la gestion du processus pour rejoindre des cadres supérieurs dans le secteur des entreprises et dans celui de la réglementation. Toutefois, parmi les innombrables activités et pratiques mises en oeuvre dans le bassin, bien des initiatives ne sont pas encore intégrées à des programmes volontaires ou réglementaires visant la prévention de la pollution.

Évaluation quantitative

- On n'a pas encore élaboré de conditions de base ni de méthodes communes pour procéder à l'évaluation quantitative cumulative des réductions de substances toxiques, qui sont précisément attribuables aux programmes et aux projets axés sur la prévention de la pollution. Ainsi, dans la plupart des cas, il est difficile de faire le total des réalisations de diverses initiatives de prévention visant la réduction des rejets de substances toxiques dans le bassin, qu'il s'agisse d'initiatives de portée générale ou axées sur l'objectif d'élimination virtuelle des substances toxiques persistantes prévu dans l'Accord.

- La série de mesures classiques de rendement (dont beaucoup sont fondées sur des paramètres économiques) appliquées dans les secteurs de la fabrication et des services n'est pas assez large pour tenir compte précisément de l'incidence des décisions sur la société, les êtres humains et l'écosystème. Les mesures du progrès doivent être améliorées de façon à prendre en compte les considérations sociétales, tout comme les mesures fondées sur la science et la technologie, ainsi que sur les facteurs économiques traditionnels.

- On note le soutien important accordé à une approche de gestion de base de données axée sur l'inventaire des matériaux plutôt que sur l'inventaire des déchets.

Modification de l'Accord relatif à la qualité de l'eau dans les Grands Lacs

- Une révision immédiate de l'Accord visant l'élaboration d'une approche en matière de prévention de la pollution n'a pas été jugée nécessaire. Les participants sont cependant d'accord sur la participation de la Commission afin d'encourager l'élaboration de principes directeurs ou d'un code d'éthique, de même que l'établissement d'objectifs visant une extension de l'approche adoptée en matière de prévention de la pollution.

Extension du concept

- De nombreuses activités de prévention de la pollution sont principalement concentrées sur des applications industrielles; il serait indiqué d'étendre cette approche visant la prévention de la pollution à de nombreux autres secteurs, notamment l'agriculture, le transport, le marchandisage, le gouvernement et les ménages. Le recours à une approche préventive à grande échelle sera nécessaire si l'on veut réaliser les progrès souhaités.

- L'approche fondée sur la prévention de la pollution englobe maintenant la conception en fonction de l'environnement et l'analyse du cycle de vie, de même que l'application de concepts comme la gérance de l'ensemble du cycle de vie du produit et l'intégration ultérieure de l'utilisateur ou du consommateur. Par conséquent, elle dépasse maintenant les frontières de toute installation particulière pour englober l'ensemble des pratiques sociales à grande échelle.

- Selon un examen préliminaire, le système d'éducation officiel ne serait pas correctement structuré de façon à présenter aux étudiants une perspective équilibrée des relations complexes entre la science, la technologie et le contexte sociétal, en particulier par rapport à la prévention de la pollution et à la qualité de l'écosystème.

Technologie

- Les technologies éprouvées ayant un potentiel d'application de la prévention de la pollution à grande échelle comprennent notamment : la conception en fonction de l'environnement; le recours à des énergies renouvelables et la gestion des renseignements relatifs aux économies d'énergie.

- Les besoins les plus pressants en matière d'innovation technologique sont définis comme suit : technologies de séparation; amélioration de la conception au chapitre des procédés; mise en oeuvre ultérieure de la conception pour démontage.

- L'avantage le plus immédiat et le plus apparent que l'on pourrait retirer des efforts visant la prévention de la pollution serait l'extension à de petites entreprises des réussites enregistrées par les installations et les sociétés importantes grâce aux moyens suivants :
  - «guichet unique» fournissant un soutien sur les plans technique et réglementaire;
  - partenariats avec des industries clientes plus importantes assurant l'expertise technique sur des questions relatives à la gestion des déchets;
  - infrastructure plus complète dans le secteur du recyclage pouvant gérer les petites quantités de sous-produits.

- infrastructure plus complète dans le secteur du recyclage pouvant gérer les petites quantités de sous-produits.

- Il faut définir et mettre en oeuvre d'autres mesures incitatives afin d'encourager l'innovation, ainsi que l'adoption et la diffusion de technologies qui empêchent la production de déchets grâce à l'amélioration continue des procédés, qui favorisent l'utilisation efficace de l'énergie, qui établissent un système régional de gestion des matériaux et qui stimulent la recherche et le développement d'une chimie écologique.

- Il est nécessaire de déterminer toutes les répercussions économiques découlant de tout processus de planification stratégique afin d'assurer une transition harmonieuse vers des pratiques durables. Les coûts associés au développement de matières premières ainsi qu'à la gestion des sous-produits et au devenir ultime du produit doivent être pris en compte.

1.1.6 Recommandations du Conseil de la qualité de l'eau des Grands Lacs

Le Conseil de la qualité de l'eau des Grands Lacs formule les recommandations suivantes :

Si les Parties décident de reprendre les négociations dans le cadre de l'Accord, elles doivent envisager des ajouts concernant un examen plus approfondi de la prévention de la pollution, notamment en désignant cette approche comme étant l'approche privilégiée, en élargissant sa portée au-delà des sources municipales et industrielles, et en élaborant des principes directeurs appropriés.

Les Parties devraient examiner leurs efforts visant l'inventaire des rejets afin de déterminer si les réductions attribuables à la prévention de la pollution peuvent être quantifiées, en particulier dans le cas des substances toxiques persistantes, et si la création d'un inventaire axé sur la gestion des matériaux plutôt que sur la gestion des déchets serait opportune et pertinente.

1.1.7 Recommandation du Conseil consultatif scientifique et du Conseil de la qualité de l'eau

- Des obstacles importants sur le plan de la réglementation empêchent l'adoption généralisée d'une approche fondée sur le cycle de vie en matière de gestion des résidus et des produits désuets comme partie intégrante d'une économie durable en ce qui a trait aux matériaux. La Commission devrait encourager les Parties à définir systématiquement ces obstacles pour satisfaire aux objectifs et à la politique en matière de prévention de la pollution. La gestion axée sur le cycle de vie doit comprendre le concept de la régénération selon lequel les déchets sont traités comme des ressources, et gérés en conséquence.

1.2 EXAMEN DES PROGRÈS DANS L'INDUSTRIE DES PÂTES ET PAPIERS

Introduction

À l'heure actuelle, 72 usines de pâtes et papiers déversent des effluents directement dans les eaux réceptrices dans le bassin, soit 18 usines de l'Ontario, 20 du Michigan, 20 du Wisconsin, 12 de l'État de New York et 2 de l'Ohio. La grande majorité de ces installations déversent au moins une partie de leurs effluents directement dans les eaux réceptrices, et chacune poursuit ses activités en fonction d'un ensemble de directives ou de conditions rattachées aux permis. Les limitations relatives aux effluents se fondent sur des facteurs tels que les caractéristiques des procédés de production, le type de produit, la quantité produite, l'âge et l'emplacement de l'usine, ainsi que la capacité portante des eaux réceptrices. L'emplacement de ces usines est indiqué à la figure 1; les numéros correspondent à ceux qui ont été assignés aux installations au tableau 2.

Depuis longtemps, l'industrie des pâtes et papiers joue un rôle déterminant dans l'expansion des collectivités situées dans le nord du bassin des Grands Lacs, en particulier dans l'économie canadienne reposant sur l'exploitation des ressources. Dans bon nombre de ces collectivités, l'industrie des pâtes et papiers représente l'employeur le plus important et la principale source de recettes fiscales. Cela est particulièrement le cas dans le nord-ouest de l'Ontario, le long de la rive nord du lac Supérieur (Bonsor *et al.*, 1988).

Les rejets d'usines de pâtes et papiers contiennent des polluants classiques et des composés organochlorés. Depuis longtemps, les stratégies antipollution sont dirigées contre les contaminants classiques, qui comprennent le **total des solides en suspension** (TSS) et la **demande biochimique en oxygène** (DBO). La production de pâte est à l'origine de quantités considérables de solides en suspension et d'une DBO élevée dans les effluents, ce qui entraîne une diminution de l'oxygène dissous dans les eaux réceptrices et est néfaste aux poissons et aux organismes benthiques lorsque les eaux ne sont pas soumises à un traitement approprié. Le traitement secondaire pratiqué à bien des endroits a permis une réduction importante de ces contaminants classiques.

Du milieu à la fin des années 80, les études effectuées par l'EPA américaine et le ministère des Richesses naturelles de l'Ontario ont démontré que les effluents d'usines de pâte et papier kraft blanchis contiennent certaines quantités de substances toxiques persistantes, notamment la **2,3,7,8-tétrachlorodibenzo-*p* dioxine** (TCDD), soit la plus dangereuse de la famille des dioxines, et le **2,3,7,8-tétrachlorodibenzofuranne** (TCDF ou furanne), dans la plage de concentrations située dans les parties par milliard, et de nombreux autres composés organochlorés non différenciés. Ces études notent également les mécanismes de réglementation selon lesquels d'autres instances et nations envisagent de mesurer et de réduire les rejets de ces contaminants, en particulier l'usage de **composés halogénés adsorbables** (AOX) en Ontario, ou la diminution du **chlore organique total** dans la plupart des pays européens, ainsi que les limites fixées par les États-Unis relativement aux dioxines (Conseil de la qualité de l'eau des Grands Lacs, 1989).

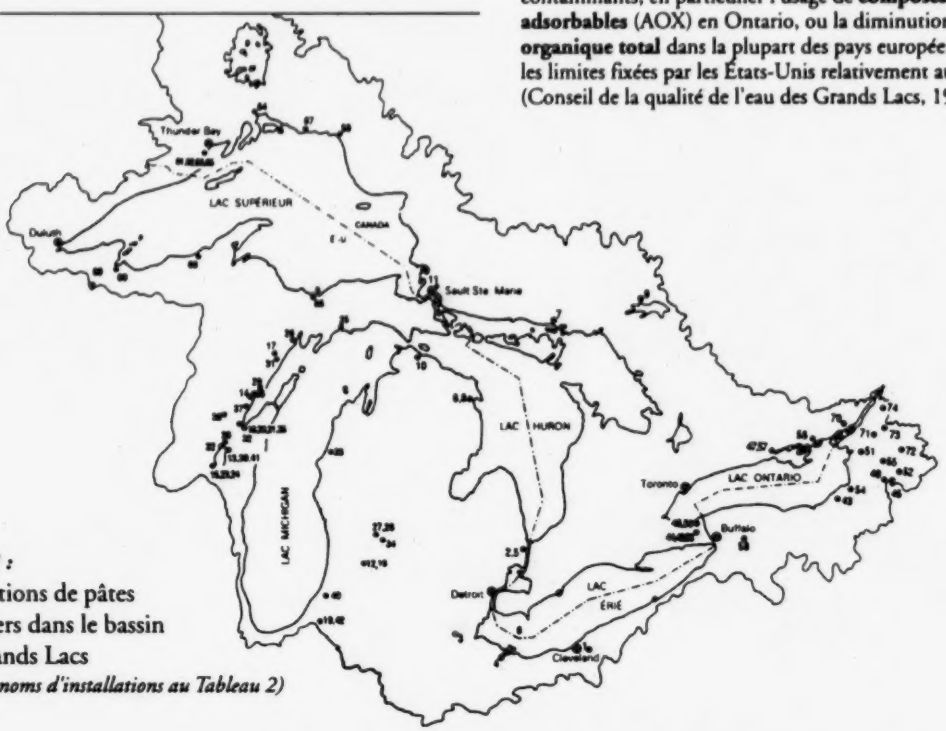


Figure 1 :
Installations de pâtes et papiers dans le bassin des Grands Lacs
(Voir les noms d'installations au Tableau 2)

Les effets antérieurs et actuels des effluents d'usines de pâtes et papiers sont évidents dans 15 des 43 **secteurs préoccupants** (SP) répertoriés par le Conseil de la qualité de l'eau des Grands Lacs comme étant des zones de dégradation écosystémique importante du bassin des Grands Lacs.

1.2.2 Intérêt de la Commission mixte internationale dans l'industrie des pâtes et papiers

Dans son *Cinquième rapport biennal sur la qualité de l'eau dans les Grands Lacs* paru en 1990, la **Commission mixte internationale** (CMI) recommande que les Parties désignent le lac Supérieur comme secteur de démonstration où le déversement de substances toxiques rémanentes ne soit autorisé d'aucune source ponctuelle. À l'exception de plusieurs zones précises, le lac Supérieur est reconnu comme étant le plan d'eau le mieux conservé des Grands Lacs. Jusqu'à maintenant, les polluants rejetés de ses sources ponctuelles et diffuses relativement peu nombreuses sont grandement dilués dans l'immense volume d'eau qu'il renferme. Bien qu'une portion importante de la charge en substances toxiques persistantes vienne de dépôts atmosphériques (Commission mixte internationale, 1990), certaines sources ponctuelles ont causé, et continuent de causer, une dégradation localisée et une augmentation de la charge en substances toxiques persistantes.

La recommandation visant le rejet nul et axée sur des sources ponctuelles telles que l'industrie des pâtes et papiers représente le point culminant d'un intérêt qui remonte loin dans le temps à l'égard des rejets de substances classiques et toxiques à partir du secteur des produits forestiers.

Dans l'annexe C du rapport annuel de 1977 préparé par le sous-comité des programmes d'assainissement à l'intention du Comité de mise en oeuvre, le **Conseil de la qualité de l'eau des Grands Lacs** résume les tendances relatives aux charges en substances toxiques du bassin; il donne également un aperçu des procédés de fabrication de la pâte et du papier et des initiatives des États, de la province et des gouvernements fédéraux en vue de réglementer les effluents d'usines de pâtes et papiers (Conseil de la qualité de l'eau des Grands Lacs, 1977).

À cette époque, les directives de l'*Environmental Protection Agency* américaine en matière d'effluent visent le total des solides en suspension (TSS) et la demande biochimique en oxygène (DBO) et s'appuient sur l'adoption de la **meilleure technique praticable** (MTP) pour certains types d'usines. Au Canada, des règlements et des directives restreignent les rejets augmentant le TSS et la DBO, et celui de substances très létales pour les espèces de poissons étudiées. Dans l'ensemble, les normes américaines relatives à la DBO sont approximativement trois fois plus restrictives que les normes comparables au Canada. En revanche, les limites imposées par le Canada pour le TSS sont trois fois plus rigoureuses que celles des É.-U.

En 1981, dans son document intitulé *The Response of the Pulp and Paper Industry in the Great Lakes Basin to Pollution Abatement Programs*, le groupe de travail sur les sources ponctuelles des pâtes et papiers, qui relève du Conseil de la qualité de l'eau, fait rapport sur les programmes de lutte contre la pollution, la réduction des effluents, les tendances relativement aux rejets, les pratiques de surveillance et les progrès technologiques réalisés par l'industrie aux États-Unis et au Canada. Le groupe de travail signale que l'industrie a réduit de façon importante les polluants classiques, bien que d'autres réductions soient nécessaires dans la poursuite des objectifs de l'*Accord relatif à la qualité de l'eau dans les Grands Lacs*. De plus, le groupe de travail souligne l'importance de reconnaître et d'éliminer les substances toxiques des effluents d'usines de pâtes et papiers. Il formule des préoccupations particulièrement vives concernant les substances rémanentes et bioaccumulables, notamment les composés organochlorés. Le groupe de travail recommande la prise de mesures concrètes visant à réduire la production et le rejet de ces substances. De façon plus précise, il encourage l'industrie à remplacer le chlore (sous forme moléculaire) par le dioxyde de chlore pour le blanchiment et d'améliorer le lavage de la pâte écrue afin de réduire au minimum le transfert de matières organiques dissoutes en cours du procédé de blanchiment (Conseil de la qualité de l'eau, 1981).

Le rapport de 1987 du Conseil de la qualité de l'eau fait la mise à jour des progrès de l'industrie dans la réduction des polluants classiques et passe en revue les données d'essais sur la toxicité aiguë menés dans des usines de l'Ontario et du Wisconsin. De 1980 à 1985, les charges totales en TSS et en DBO dans le bassin des Grands Lacs ont été réduites respectivement de 26 % (passant de 144,5 à 106,2 tonnes/jour) et de 30 % (de 384 à 269 tonnes/jour), la lutte contre la pollution menée dans les usines de pâte de l'Ontario étant le principal agent de réduction de la pollution. D'autres essais de la toxicité ont révélé que les effluents de 14 des 20 usines de l'Ontario sont mortels pour les espèces étudiées, comparativement aux effluents de 8 usines sur 20 du Wisconsin. Bien que le protocole de cotation probante de la toxicité aiguë ne fut pas bien établi à ce moment, six des huit usines ayant des effluents létaux ont été classés parmi les sources de substances très toxiques (Conseil de la qualité de l'eau, 1987).

En 1989, le Conseil de la qualité de l'eau signale que malgré les réductions importantes de polluants classiques qu'elle a réalisées, l'industrie des pâtes et papiers contribue encore de façon importante à la DBO et au TSS pour le bassin des Grands Lacs. En Ontario, ce secteur industriel représente environ 80 % de toutes les charges en DBO provenant de sources industrielles qui rejettent directement des polluants dans le bassin, et ses rejets liés à la DBO et au TSS sont supérieurs à ceux de toutes les usines d'épuration des eaux municipales dans le bassin des Grands Lacs. Le Conseil a donc recommandé que les usines appliquent un traitement secondaire ou d'autres techniques équivalentes de réduction de la pollution visant la diminution des niveaux de polluants classiques et toxiques dans les effluents provenant de ces sources (Conseil de la qualité de l'eau, 1989).

Un certain nombre de composés organochlorés complexes qui sont présents dans les effluents d'usines de pâtes et papiers blanchis pourraient poser certains risques pour des formes de vie aquatiques et ne sont pas encore répertoriés. Tant que l'on ne prendra pas de mesures exceptionnelles pour les identifier, il est probable que beaucoup de ces substances ne seront pas répertoriées. Le rapport de la CMI publié en 1993 et intitulé *Une stratégie pour l'élimination virtuelle des substances toxiques rémanentes* recommande que :

> «Les Parties commandent une étude exhaustive de tous les facteurs et implications liés à la mise en oeuvre du projet d'élimination progressive d'une matière première de base telle que le chlore.»

En réponse à cette recommandation précise, conjuguée à des restrictions sur les rejets de composés organochlorés, plus particulièrement de dioxines, l'industrie des pâtes et papiers a commencé à apporter des modifications à certains procédés et matières premières. Tout récemment, le marché des produits forestiers et les prix qui y sont rattachés ont connu une hausse spectaculaire, permettant l'investissement dans des modifications de procédés. La durabilité de l'industrie forestière du bassin correspond à un intérêt soutenu du Conseil de la qualité de l'eau, qui espère pouvoir formuler des commentaires à ce sujet dans un avenir rapproché.

1.2.3 Caractérisation des effluents : évaluation des risques éventuels

L'effluent généré par les usines de pâtes et papiers est un mélange complexe d'ingrédients divers, chacun possédant ses propres caractéristiques et propriétés et présentant des risques éventuels. Considérés dans leur ensemble, ces composés posent un défi à l'établissement de méthodes d'essai, de procédures de surveillance et de technologies antipollution appropriées. La composition de l'effluent est largement tributaire du type de bois utilisé, des procédés de fabrication (notamment dans certains cas, de la séquence de blanchiment) et de l'efficacité des procédures de traitement de l'effluent. En règle générale, l'effluent des usines de pâte écrue renferme des acides résiniques et des savons, des acides gras, des alcools diterpéniques et des phytostérols. L'effluent des usines utilisant des techniques de blanchiment au chlore contient des chlorophénols, des acides chlorés, des alcools, des aldéhydes, des cétones, des glucides et des composés aliphatiques ainsi que des hydrocarbures aromatiques. De nombreux composés sulfurés volatils peuvent également entrer dans la composition de l'effluent des usines de pâte (Sprague et Colodey, 1989; Kringstad et Lindstrom, 1984). Il arrive aussi que soient rejetés dans l'atmosphère du chloroforme et du toluène à l'état de vapeur.

Les directives réglementaires applicables au rejet d'effluent d'usines de pâtes et papier reposent depuis longtemps sur des paramètres quantitatifs et physiques comme la DBO et le TSS. Comme indicateur de la présence de matières organiques, la DBO mesure la tendance d'un effluent à consommer de l'oxygène dissous à partir d'eaux réceptrices au cours du processus de dégradation naturelle (Bonsor *et al.*, 1988). Par ailleurs, le TSS indique la quantité de matières organiques solides en suspension dans l'eau. La lente décomposition de tapis fibreux, formés à partir de ces solides organiques en suspension, et d'autres contaminants est à l'origine de conditions anoxiques (pauvres en oxygène) et de la formation de gaz toxiques dans les eaux réceptrices (Bonsor *et al.*, 1988). Bien que l'on continue de considérer intégralement ces paramètres dans l'évaluation et la caractérisation globale de l'effluent, la législation actuelle et la tendance courante de la communauté scientifique sont axées sur des méthodes de mesure utilisant davantage d'organismes ou d'espèces sentinelles.

Les essais, qui sont de rigueur aux termes de la ***Loi canadienne sur la protection de l'environnement*** (LCPE), de la ***Clean Water Act*** (CWA) promulguée par l'EPA des États-Unis et de la **Stratégie municipale et industrielle de dépollution** (SMID) de l'Ontario, vont au-delà des épreuves de toxicité aiguë et chronique pour une seule espèce vers une approche multiorganismes afin de mieux représenter la complexité de l'écosystème (Cairns, 1986). Outre les directives standard de la tolérance limite moyenne pour 96 heures (qui seront abordées plus loin), les organismes de réglementation intègrent des évaluations toxicologiques et histologiques pour garantir que l'on tiendra compte de tout indicateur de stress, en particulier des indicateurs biochimiques. Les gouvernements ont également déployé d'autres efforts visant la surveillance des contaminants préoccupants. Cependant, on n'a pas encore atteint de consensus sur le paramètre, AOX ou composés organochlorés à l'état de traces, qui représenterait le mieux les risques liés à l'effluent des usines.

Essais de toxicité aiguë et chronique

Intégrés aux épreuves nécessaires à l'évaluation des effluents, les essais de toxicité aiguë et chronique ont évolué à partir de leur conception originale à mesure que l'on a accordé davantage d'importance à la sélection des espèces, à la durée et à la conception des essais, et aux effets sublétaux possibles.

On peut évaluer la toxicité aiguë ou chronique. La toxicité aiguë représente l'effet de l'effluent sur les formes de vie par suite d'une exposition à court terme conduisant à une crise ou à un point de fin de façon relativement immédiate, tandis que la toxicité chronique mesure les effets qui se produisent après une exposition continue, à long terme, à de faibles doses de matières toxiques (ministère de l'Environnement de l'Ontario, 1988). Ces deux types de toxicité, aiguë et chronique, peuvent provoquer chez les organismes des effets sublétaux ou létaux. Un effet sublétal indique une conséquence autre que la mort sur un organisme donné, tandis que l'effet létal se traduit par la mort de l'organisme.

La toxicité aiguë se mesure généralement au moyen de l'essai de la tolérance limite moyenne pour 96 heures. Ce test indique le pourcentage d'un effluent qui, dilué dans de l'eau propre, cause la mort de 50 % des organismes étudiés après 96 heures d'exposition au mélange. Plus le pourcentage de l'effluent est faible, plus la toxicité est élevée (ministère de l'Environnement de l'Ontario, 1988). Pour bon nombre d'organismes, la différence entre la concentration létale aiguë et une concentration non létale aiguë est minime. Des fluctuations soudaines et subtiles dans l'effluent global ou dans certaines composantes de ses composantes au niveau de tolérance limite moyenne ou à un niveau supérieur pour une courte durée peuvent entraîner la mort des organismes aquatiques dans les eaux réceptrices qui se trouvent à proximité du point de rejet de l'effluent provenant de l'usine de pâte. Cet essai est souvent utilisé comme paramètre dans la détermination de la capacité des eaux réceptrices, reposant sur l'hypothèse selon laquelle l'effluent sera suffisamment dilué à son entrée dans les eaux réceptrices, une prémisse qui ne se confirme pas toujours (Servos *et al.*, 1992). Les règlements qui exigent une «concentration non létale au point de rejet» évitent les faiblesses que comporte cette hypothèse.

Parmi les restrictions liées à l'essai fondé sur la **concentration létale** (CL), mentionnons l'incapacité de réunir en double au cours de l'expérience tous les paramètres *in situ* possibles. Des variations physiques de température, de pH et de niveaux d'oxygène dissous dans les eaux réceptrices font partie des facteurs qui peuvent influer sur la toxicité enregistrée à proximité d'un point de rejet.

La toxicité chronique peut être exprimée comme étant la diminution du rendement de reproduction, des variations biochimiques ou physiologiques, des malformations physiques, une propriété de mutagénicité ou de cancérogénicité (Environnement Canada/Santé et Bien-être social Canada, 1991). Un protocole d'essai de la toxicité chronique est plus difficile à mettre au point étant donné que les résultats sont, dans la plupart des cas, moins spectaculaires que ceux de l'essai de la toxicité aiguë. Il est donc essentiel que l'on élabore des méthodes de surveillance et un protocole d'essai plus complets afin de résoudre ce problème. Les règlements actuels applicables aux pâtes et papiers aux termes de la *Loi canadienne sur la protection de l'environnement* de 1991 exigent la conduite d'essais visant à déterminer les répercussions chroniques sur le développement de poissons aux premières étapes du cycle évolutif, sur le comportement de préférence ou d'évitement chez les poissons, et sur la reproduction chez les invertébrés.

Il arrive que des effets sublétaux subtils, qui peuvent passer relativement inaperçus au sein d'une population, entraînent des dommages importants. Des modifications du comportement, qui provoquent chez l'individu une déviation par rapport aux attitudes «normales», peuvent être à l'origine d'une mise à l'écart de certains individus au sein d'une population. Fondamentalement, bien qu'un individu ne soit pas mort de l'exposition à une substance toxique, son incapacité de mener à bon terme le rituel de reproduction approprié signifie qu'il ne peut pas se reproduire. Cette affirmation s'applique également à un individu qui est incapable de repérer le danger en raison d'une diminution de sa perception sensorielle. Bien que la cause directe de la mort soit la prédation, la réaction à l'exposition à des substances toxiques représente un facteur déterminant. Ces changements très subtils peuvent être à l'origine de modifications de l'espèce et d'une altération de l'écosystème au fil du temps.

Les essais de toxicité aiguë et chronique ne fournissent que des renseignements limités sur la toxicité potentielle d'un effluent. En raison de contraintes financières et techniques, on choisit des espèces «représentatives» de divers paliers de la chaîne alimentaire pour tenter de caractériser l'incidence globale sur le biote. Malheureusement, la CL_{50} d'un effluent n'est pas une propriété comme telle; il s'agit plutôt d'une réponse biologique observée chez l'organisme étudié, ce qui limite grandement l'estimation de la toxicité au moyen d'autres organismes et l'extrapolation à d'autres organismes.

La législation actuelle exige que les essais de toxicité se fassent sur l'effluent entier, de sorte qu'ils tiennent compte de toute interaction entre les composants. Il est difficile de prédire la toxicité aiguë ou chronique d'un mélange. Bonsor *et al.* (1988) ont tenté de prédire la toxicité de l'effluent entier d'une usine de pâte blanchie en estimant la contribution de chaque composé organochloré (chlorocatéchol, guaïacol, phénols, acides résiniques et acides gras) à la toxicité globale de l'effluent (Environnement Canada/Santé et Bien-être social Canada, 1991). Les variations entre les estimations obtenues de cette façon et les niveaux réels de toxicité létale qui ont été enregistrés étaient de l'ordre de 2,2 à 0,2.

Composés halogénés adsorbables (AOX) et analyse des contaminants à l'état de traces

Étant donné la complexité et la variabilité des effluents d'usines, il est peu probable que l'on réussisse un jour à répertorier ou à quantifier correctement tous les composés chlorés dans les effluents d'usines de pâte blanchie (Environnement Canada, 1991; Bonsor *et al.*, 1988). Par conséquent, de nombreuses instances ont exploré d'autres façons de déterminer les risques posés par ce mélange que constitue l'effluent.

Les provinces de l'Ontario, du Québec, de l'Alberta et de la Colombie-Britannique ont décidé de réglementer le rejet de composés organochlorés par l'utilisation d'un paramètre global, celui des AOX. Cette technique se fonde sur le passage d'un échantillon d'effluent ou d'eaux usées à travers du carbone activé afin d'adsorber les substances organiques. Après le lavage du carbone pour enlever les halides inorganiques, on procède à sa combustion et à l'analyse des produits gazeux pour déterminer les halogènes totaux. Dans l'effluent d'usines de pâte blanchie, le composant halogène (X) est presque uniquement du chlore (Environnement Canada, 1991).

Étant donné que la technique des AOX n'est pas une mesure des composés organiques halogénés, elle ne détermine pas la classe des constituants chimiques ou de chaque composé. On ne peut donc pas déduire la toxicité potentielle, la persistance ou la capacité de bioaccumulation des diverses substances organiques (et de l'effluent total), et les AOX ne peuvent pas servir d'éléments représentatifs des toxicités relatives des produits qui entrent dans la composition de l'effluent. À titre d'exemple, des usines qui rejettent des concentrations égales d'AOX peuvent présenter des toxicités très différentes (mesurées par l'essai de la CL_{50}) étant donné les diverses proportions de chaque composant (Holloran *et al.*, 1992). Toutefois, la technique des AOX est efficace comme indicateur des progrès vers l'élimination virtuelle des composés organochlorés rejetés par l'industrie dans les eaux des Grands Lacs.

Au lieu d'utiliser le paramètre global des AOX, Environnement Canada, à l'instar des États américains qui se trouvent en bordure du bassin, a adopté des règlements en matière de surveillance pour les niveaux des divers organochlorés préoccupants. Cette approche est également préconisée par une portion importante de l'industrie des pâtes et papiers (McCubbin et Folke, 1995), qui appuie la réglementation de certains produits chimiques particulièrement toxiques comme les dioxines et les furannes. Mais une restriction de cette approche serait que seulement 10 % à 40 % des composés chlorés de faible masse moléculaire (masse moléculaire <1000) dans l'effluent d'usines de pâte blanchie sont caractérisés de façon satisfaisante (Kringstad et Lindstrom, 1984). Étant donné que ces composés de faible masse moléculaire peuvent présenter un risque accru à cause de leur capacité de traverser une membrane biologique, beaucoup de composés toxiques non identifiés peuvent être rejetés dans l'environnement en l'absence de réglementation ou de surveillance particulière.

Une autre méthode d'évaluation de la toxicité des effluents est recommandée afin d'apaiser les craintes concernant l'utilisation des AOX et les contaminants à l'état de traces. Au moyen du facteur d'équivalence de la toxicité (FET), on peut exprimer la toxicité d'un mélange global d'AOX en indiquant la toxicité de chaque composé (ou groupe de composés) par rapport à celle d'un composé de référence faisant partie du groupe. Une application particulière de ce principe est le calcul des **équivalents toxiques du pentachlorophénol** (Holloran *et al.*, 1992). On se sert d'une technique analogue pour trouver la correspondance de la teneur totale en congénères des BPC dans les filets

de poisson et les moules par rapport à la 2,3,7,8-tétrachlorodibenzo-*p*-dioxine exprimée en équivalents-TCDD (TCDD-EQ) (Williams *et al.*, 1992; Hong *et al.*, 1992). Cette technique nécessiterait une différenciation accrue des composants de l'effluent comparativement au paramètre global des AOX plus précisément pour classer les composants en familles ou en groupes mais les estimations qu'elle fournirait de la toxicité de l'effluent total seraient plus précises que celles fournies par l'analyse de chaque contaminant à l'état de traces. Le tableau 1 exprime en **équivalents toxiques** la toxicité des effluents d'usines de pâte qui utilisent des procédés au chlore.

Toute technique servant à caractériser la toxicité de l'effluent, qu'il s'agisse des AOX, d'analyse des contaminants traces ou des facteurs d'équivalence de la toxicité, doit être suffisamment conservatrice pour compenser les divers modes d'exposition de chaque organisme. Bien que l'effluent puisse être rejeté à une **«dose sans effet observable»**, des organismes présentant des caractéristiques particulières liées au mode de vie (p. ex., qui s'alimentent au fond de l'eau) peuvent être exposés à des risques beaucoup plus importants en raison de leur dynamique d'exposition unique par comparaison avec un organisme dont le mode de vie est différent.

Dioxines et furannes

Le terme «dioxine» désigne communément une famille de 210 composés chlorés aromatiques structuralement apparentés, qui sont connus sous le nom de **dibenzo-*p*-dioxines chlorées** (CDD) et de **dibenzofurannes chlorés** (CDF). La toxicité des dioxines est renforcée par la substitution de molécules de chlore aux positions 2, 3, 7 et 8. La substance la plus toxique de cette famille est la 2,3,7,8-TCDD, qui fait partie des substances toxiques les plus puissantes que l'on connaisse et l'on pense qu'elle aurait des propriétés cancérigènes. D'autres dioxines et furannes potentiellement dangereux ont comme caractéristique la substitution aux positions 2, 3, 7 et 8, cependant ils possèdent d'autres atomes de chlore dans leur structure (penta, hexa, hepta et octa-CDD/CDF). Par conséquent, la toxicité d'autres dioxines est exprimée en rapport avec la 2,3,7,8-TCDD au moyen du facteur d'équivalence de la toxicité (FET) décrit ci-dessus (Bonsor *et al.*, 1988). On a attribué à la 2,3,7,8-TCDD une valeur de FET de 1,0. Le tétrachlorodibenzofuranne (2,3,7,8-TCDF), composé qui lui est étroitement apparenté, serait dix fois moins dangereux que la 2,3,7,8-TCDD, son FET étant donc de 0,1. Bien que d'autres dioxines soient détectés dans des effluents d'usines, ces substances sont considérées comme étant moins importantes en tant que contaminants aux fins de la recherche et de la réglementation, en raison de la toxicité marquée de la TCDD et du TCDF.

Le tableau 1 renferme les estimations pour l'année 1993 de la toxicité des effluents d'usines de pâtes et papiers qui utilisent des procédés au chlore. Les usines qui ne se servent pas de composés chlorés (comme le chlore sous forme moléculaire, le dioxyde de chlore ou l'hypochlorite de sodium) n'ont pas été sollicitées aux fins de l'établissement du rapport *Quantitative Estimation of the Entry of Dioxins, Furans and Hexachlorobenzene into the Great Lakes From Airborne and Waterborne Sources* par Cohen *et al.* (1995) étant donné qu'elles ne sont pas considérées comme étant des sources importantes de dioxines et de furannes. On a modifié ce tableau afin d'inclure uniquement les usines dont l'effluent est rejeté directement dans l'un des Grands Lacs ou un tributaire d'un lac. Les usines dont l'effluent est rejeté dans les systèmes d'épuration des eaux usées municipales n'ont pas été prises en compte aux fins du présent chapitre.

Les données ont été fournies au *Center for the Biology of Natural Systems* (Queens College, CUNY) aux fins d'inclusion dans le rapport de Cohen *et al.* par le ***National Council of the Paper Industry for Air and Stream Improvement Inc.*** (NCASI) et l'*Ontario Forest Industries Association*.

Avant l'inclusion du tableau dans le présent rapport, nous avons suivi certaines méthodes de rapprochement visant à corroborer les données en regard de plusieurs sources gouvernementales. Suivant le conseil de l'EPA des États-Unis, nous avons fait une recherche dans le ***Permit Compliance System*** (PCS). L'étude des données de 1993-1995 concernant les huit usines des États-Unis qui figurent au tableau 1 a révélé l'absence de données (*No Data*) pour 68 entrées, l'absence de violation de données (*No Data Violation*) pour 2 entrées, des valeurs inférieures à la moyenne des maxima (*Less Than Average Maximum*) dans 9 cas, et une entrée indiquant une surveillance non nécessaire (*No Monitoring Required*). Il a donc été impossible d'effectuer une vérification directe des valeurs du NCASI.

Le Wisconsin a été sollicité par la suite pour son aide en ce qui a trait aux données des usines de cet État. Étant donné que le système d'octroi de permis du Wisconsin requiert une surveillance seulement si les résultats des essais analytiques au moment de la demande de renouvellement du permis indiquent la possibilité de non-conformité aux directives applicables à la qualité de l'eau, nous n'avons recueilli qu'une quantité limitée de données. Cependant, les dossiers de l'État indiquent qu'aucun niveau détectable de congénères de la 2,3,7,8-dioxine n'a été enregistré dans les effluents des usines du Wisconsin depuis 1989 environ.

Comme les usines doivent assurer une surveillance et présenter les données relatives aux effluents aux termes de la *Loi canadienne sur la protection de l'environnement*, l'*Ontario Forest Industries Association* a transmis ses données à Environnement Canada aux fins d'examen. Dans l'ensemble, les fonctionnaires sont d'avis que les données fournies correspondent à celles de leurs dossiers. Les données relatives aux dioxines pour 1994 et le début de 1995 en ce qui a trait aux usines canadiennes étaient disponibles, mais comme il n'existe aucune donnée équivalente pour les États-Unis, ces chiffres ne sont pas présentés.

Comme l'indique la note c) au bas du tableau 1, les valeurs du TEQ sont estimées à partir des données de la 2,3,7,8-TCDD et du 2,3,7,8-TCDF seulement. Étant donné que les résultats présentés au départ par l'*Ontario Forest Industries Association* tenaient compte de tous les congénères de dioxines, et qu'ils ont été corrigés par la suite de façon à s'harmoniser avec les données présentées par le NCASI (qui fondent les estimations des TEQ uniquement sur les congénères tétrachlorés (à quatre atomes de chlore) de dioxines et de furannes à substitution aux positions 2, 3, 7 et 8), les charges en TEQ des lacs semblaient plus faibles que dans la réalité. Dans certains cas, les TEQ indiqués par l'Ontario diminuaient de 50 % lorsque la contribution des congénères autres que les 2,3,7,8-TCDD/TCDF était écartée. Ces résultats laissent penser que la contribution des congénères de dioxines et de furannes à substitution de chlore en position 2, 3, 7 et 8 autres que les composés tétrachlorés peuvent avoir une incidence importante sur les estimations des TEQ des effluents. Ce résultat diffère de la conclusion tirée du rapport

Tableau 1 :

Estimation pour 1993 de l'apport dans les Grands Lacs des PCDD/PCDF provenant des effluents liquides rejetés directement par les usines de pâtes et papiers qui utilisent des procédés à base de composés chlorés (n).

Entreprise	Ville	État ou province	Lac	Coefficient du transfert dans l'eau estimé pour les PCDD/PCDF (voir la note a)	Apport estimé des PCDD/PCDF au lac (g TEQ/année) (voir les notes b et c) minimal	moyen	maximal	Notes	Nombre d'échantillons réels sur lesquels se fonde l'estimation
E.B. Eddy	Espanola	ON	Huron	100%	0,0560	0,1010	0,1460	e	7
Thorold Specialty Papers	Thorold	ON	Ontario	75%	0,0004	0,0104	0,0205	e	5
Mead	Escanaba	MI	Michigan	100%	0,0133	0,0368	0,0629	d,g	6
Champion International	Quinnesec	MI	Michigan	75%	0,0119	0,0237	0,0475	h	0
Badger Paper Mills	Peshtigo	WI	Michigan	100%	0,0000	0,0041	0,0083	d,i	2
Wisconsin Tissue Mills	Menasha	WI	Michigan	75%	0,0000	0,0064	0,0127	d	1
Fort Howard	Green Bay	WI	Michigan	100%	0,0012	0,0211	0,0409	d	4
P.H. Glatfelter	Neenah	WI	Michigan	75%	0,0000	0,0042	0,0084	d	1
Scott Paper	Oconto Falls	WI	Michigan	75%	0,0000	0,0009	0,0019	d,k	1
James River	Ashland	WI	Supérieur	100%	0,0000	0,0029	0,0058	d,l	1
Avenor	Thunder Bay	ON	Supérieur	100%	0,0551	0,1281	0,,2011	e	11
James River	Marathon	ON	Supérieur	100%	0,0016	0,0356	0,0696	e	9
Kimberly-Clark	Terrace Bay	ON	Supérieur	100%	0,3372	0,4174	0,4977	e,m	12
				TOTAL	0,4767	0,7926	1,1233		

a) Le coefficient du transfert dans l'eau (CTE) est la fraction des PCDD/PCDF rejetés par l'usine que l'on estime être transportée à l'un des Grands Lacs. Lorsque le rejet se fait directement dans l'un des lacs ou un tributaire à moins de quelques milles du lac, on évalue le CTE à 100 %. Si l'effluent est rejeté dans un tributaire à une distance plus grande du lac, le CTE estimé est réduit de 25 %.

b) Pour toutes les estimations, la méthodologie de base consiste à multiplier le débit approprié de l'effluent liquide par la concentration mesurée ou estimée des PCDD/PCDF dans l'effluent. Pour calculer le rejet minimal estimé par année, on a supposé pour toutes les substances non détectées un rejet nul; pour le calcul du rejet moyen estimé, le rejet de toutes les substances non détectables a été établi à la moitié de la limite de détection, et pour celui du rejet maximal estimé, on a supposé que toutes les substances non détectables se situaient à la limite de détection par mesure.

c) On a calculé les rejets estimés de PCDD/PCDF en utilisant uniquement les données disponibles pour le 2,3,7,8-TCDD (avec un équivalent toxique de 1) et le TCDF (dont l'équivalent toxique supposé est de 0,1). Ces substances étaient les deux seuls congénères pour lesquels on disposait de données pour les usines de pâtes et papiers des États-Unis, et l'on pense que la majorité des équivalents toxiques de PCDD/PCDF dans les effluents d'usines seraient imputables à ces deux substances. Les données provenant des usines du Canada montrent que d'autres congénères ont été détectés à l'occasion dans l'effluent, et que parfois, ils contribuent de façon importante aux équivalents toxiques dans les rejets.

d) L'estimation des rejets de PCDD/PCDF par l'usine se fonde sur des données fournies au CBNS ou *Center for the Biology of Natural Systems* (*Queens College*, CUNY) par le *National Council of the Paper Industry for Air and Stream Improvement Inc.* (NCASI).

e) L'estimation des rejets de PCDD/PCDF par l'usine se fonde sur des données fournies au CBNS par l'*Ontario Forest Industries Association*.

g) Ce sont la concentration mesurée de PCDD/PCDF et le débit de l'effluent de l'usine de pâte blanchie qui ont servi à estimer le rejet, plutôt que les paramètres comparables dans l'effluent final. Lorsque l'effluent final présente des concentrations de dioxines et de furannes inférieures à la limite de détection, cette méthode de calcul peut être plus exacte pour l'estimation des rejets de l'usine.

h) L'estimation a été faite par le CBNS à partir de données relatives à des usines de même type.

i) On ne disposait d'aucune donnée pour 1993; on a fait la moyenne des données de 1992 et de 1994 afin d'estimer le rejet pour l'année 1993.

k) On n'a pas mesuré le rejet de 2,3,7,8-TCDF; sa concentration a été estimée à un niveau inférieur à la limite de détection de 1,6 pg/L, qui a été enregistrée pour la mesure de 2,3,7,8-TCDD à cet endroit.

l) Aucune donnée pour 1993 n'était disponible; on a utilisé les données de 1991.

m) L'entreprise a déclaré que dans ses recherches, elle a constaté qu'un tuyau d'égout contaminé était la source principale de PCDD/PCDF dans le rejet. Elle a remplacé le tuyau en avril 1994, et des échantillons de l'effluent ont été prélevés depuis, indiquant effectivement une diminution des niveaux de PCDD/PCDF. Dans 8 échantillons prélevés entre mai 1994 et décembre 1994, les taux de PCDD/PCDF dans l'effluent (considérant uniquement les 2.3.7.8-TCDD et 2,3,7,8-TCDF comme pour toutes les autres usines) correspondent à l'estimation d'une charge annuelle moyenne d'environ 0,096 g TEQ/année.

n) Seules les usines de pâtes et papiers qui utilisent des composés chlorés dans leurs procédés (p. ex., chlore, dioxyde de chlore, hypochlorite de sodium) sont pris en compte dans la présente liste. Certaines des installations figurant sur cette liste ont déclaré avoir modifié leurs procédés, ou ont fourni des données sur l'effluent qui laissent penser que les rejets de PCDD/PCDF ont diminué depuis 1993.

Adapté de Cohen et al. (1995)

conjoint intitulé *U.S. EPA/Paper Industry Cooperative Dioxin Study The 104 Mills Study* (1990). Aux fins de ce rapport, on a analysé 10 effluents de pâte blanchie, 9 échantillons de boues d'eaux usées et 9 effluents d'eaux usées finales. L'EPA des États-Unis conclut que même à partir des hypothèses les plus prudentes, les 2,3,7,8-TCDD et 2,3,7,8-TCDF représentent la grande majorité des concentrations d'équivalents toxiques dans chaque échantillon.

Il convient de noter que le tableau 1 ne représente pas les résultats d'un seul programme ou initiative visant à déterminer les contributions toxiques liées aux rejets de dioxines et de furannes par les usines de pâtes et papiers utilisant des composés chlorés. Il s'agit plutôt d'une compilation de données provenant de diverses sources et s'inscrivant dans un contexte très large. La présentation de ces données avait pour but de fournir des estimations préliminaires de ces rejets et d'encourager ainsi la préparation de tableaux plus précis et plus circonscrits de ces données dans un avenir rapproché.

Les dioxines sont des substances extrêmement toxiques et létales à de faibles concentrations pour certains animaux étudiés. Selon certaines études menées sur la truite arc-en-ciel, les TCDD et TCDF pourraient causer la mort, le ralentissement de la croissance et un comportement anormal chez des poissons aux premiers stades de vie. La tolérance limite moyenne pour 56 jours des 2,3,7,8-TCDD chez la truite arc-en-ciel a été mesurée à 0,046 partie par 10^{-12} (partie par billion) et la concentration la plus faible testée, soit 0,038 partie par 10^{-12}, présentait certains effets liés à une toxicité chronique sous forme de diminution de la croissance (Bonsor *et al.*, 1988).

Les dioxines sont légèrement solubles dans l'eau, persistantes dans les sols et les sédiments et facilement bioaccumulables chez les poissons. Après leur sorption dans les particules de sols, les principaux mécanismes de transport de ces composés semblent être l'érosion et le transport des sédiments dans l'eau. La seule voie de destruction environnementale importante pour les dioxines et les furannes est la photodéchloration, processus nécessitant la présence d'une autre matière capable de céder des atomes d'hydrogène (Bonsor *et al.*, 1988). Ce processus peut se produire dans les conditions extrêmes d'oxydation thermique prévalant au cours de l'incinération.

Des initiatives de nature technologique entreprises récemment par l'industrie des pâtes et papiers ont réduit considérablement le rejet de dioxines dans les eaux usées. Fait très important, des technologies nouvelles, en particulier celles qui substituent au chlore le peroxyde d'hydrogène, l'ozone, l'oxygène ou le dioxyde de chlore, remplacent les procédés de blanchiment au chlore sous forme moléculaire (*Business and the Environment*, 1995); les procédés n'utilisant pas de composés chlorés devraient éliminer complètement la production de dioxines au cours du processus.

Test d'induction d'oxygénase à fonction mixte (hydroxylase)

Récemment, l'incidence des effluents d'usines de pâte sur l'activité enzymatique de l'**oxygénase à fonction mixte** (hydroxylase) chez les poissons a fait l'objet d'un examen minutieux, en particulier au sein des ministères canadiens de l'Environnement ainsi que des Pêches et des Océans. Le système enzymatique fondé sur l'hydroxylase constitue un processus clé de désintoxication chez le poisson, qui agit au niveau du réticulum endoplasmique lisse des hépatocytes (cellules du foie). Le terme «hydroxylase» est un terme général qui désigne la fonction de l'ensemble de toutes les enzymes hépatiques de désintoxication. Grâce à l'action des hydroxylases, des composés potentiellement dangereux qui sont introduits dans l'organisme sont altérés du point de vue structurel et peuvent être éliminés par le rein. La réaction responsable de cette modification est appelée hydroxylation et comporte l'ajout d'un groupement OH^- au composé, le rendant soluble dans l'eau. Dans bien des cas, ce mécanisme peut permettre l'élimination sans dommage de substances anthropogéniques de l'organisme. Toutefois, il existe une possibilité que cette conversion conduise également à la formation d'une forme «active» ou plus dangereuse de la substance (comme pour de nombreux cancers) ou que la solubilité à l'eau de cette substance lui permette de traverser rapidement les membranes biologiques et de provoquer des complications immédiates ou aiguës (Becker et Deamer, 1991).

Dans des conditions normales, le système enzymatique de l'hydroxylase fonctionne de façon continue. Le niveau d'activité varie en fonction de facteurs environnementaux et physiologiques comme la température saisonnière et la situation sur le plan de la reproduction des individus (c.-à-d. pendant la ponte) (Jimenez *et al.*, 1990, dans McCarthy et Shugart). On découvre également des variations entre les deux sexes et les membres de diverses espèces (Munkittrick *et al.*, 1994).

Des chercheurs ont cependant constaté que les poissons se trouvant dans une zone où se déverse un effluent d'usine de pâte peuvent présenter une activité accrue de l'hydroxylase, dans certains cas jusqu'à vingt fois supérieure au niveau habituel observé (Munkittrick *et al.*, 1992). On attribue ce phénomène à l'influx accru de produits chimiques potentiellement dangereux que l'organisme doit tenter d'éliminer pour maintenir un fonctionnement normal. À titre d'exemple, Munkittrick *et al.* (1992) ont mené une étude avant et après la fermeture d'une usine aux fins d'entretien en mettant l'accent sur les niveaux d'hydroxylases. Ils ont observé une diminution marquée de l'activité des hydroxylases à la suite de l'interruption des rejets d'effluent, indiquant que le stress sur la population avait été supprimé. Le système enzymatique pouvait fonctionner à des niveaux plus faibles étant donné qu'il n'avait pas à compenser pour l'excédent de produits chimiques provenant de l'effluent. On n'a déterminé de façon probante aucune conséquence directe de l'induction accrue d'hydroxylase (Munkittrick *et al.*, 1994); cependant, Okey (1990) est d'avis qu'il pourrait exister une corrélation entre l'induction accrue d'hydroxylase et les anomalies liées à la reproduction observées chez certaines populations de poissons.

Une enzyme hydroxylase en particulier appelée 7-éthoxyrésorufine-O-déséthylase (EROD) est souvent mesurée comme estimation globale du niveau d'induction des hydroxylases. Une étude menée par Servos *et al.* (1992) sur la rivière Spanish en Ontario révèle une induction accrue d'EROD chez le meunier noir en aval de la sortie de l'effluent provenant d'une usine de pâte après la modernisation du procédé de blanchiment (c.-à-d. substitution du dioxyde de chlore, délignification à l'oxygène). Par comparaison, les sites de référence situés en amont présentaient des niveaux beaucoup plus faible d'activité d'EROD. Ce fait indique qu'un facteur dans l'effluent exerce sur la population à un stress chimique, déclenchant des mécanismes de désintoxication. Dans leur étude précédant et suivant la fermeture d'une usine, Munkittrick *et al.* (1992) n'ont trouvé aucun signe d'induction d'EROD pendant la période de fermeture, bien qu'une

induction importante ait été observée avant la fermeture de l'usine. Fait intéressant, bien que l'on n'ait pas déterminé quel composant particulier de l'effluent était responsable de l'induction de l'activité d'EROD, la recherche prouve qu'il n'existe aucune corrélation entre le niveau d'induction d'EROD et le paramètre global des AOX (Swanson *et al.*, 1992). Munkittrick *et al.* (1994) appuient cette conclusion d'après leur observation que l'induction d'EROD chez le meunier noir est survenue en aval du point de rejet de l'effluent des usines de pâte blanchie et non blanchie.

L'induction des hydroxylases représente une mesure-sentinelle, un signal précoce indiquant qu'un stress est exercé sur une population; toutefois, comme aucun élément n'a été reconnu comme étant l'agent causal de ce stress, il est impossible de déterminer quelles modifications techniques sont nécessaires dans les procédés de réduction du bois en pâte ou de blanchiment de la pâte pour éliminer ce stress. De façon plus particulière, il est difficile d'évaluer le succès des programmes de dépollution, notamment la mise en place d'un traitement secondaire, d'après les niveaux d'induction des hydroxylases. Les caractéristiques du produit chimique causant le stress, surtout leur degré d'hydrophobicité (tendance à quitter le stade aqueux) sont des éléments qui rendent encore plus difficile son identification.

Finalement, l'agent causal peut être de nature hydrophile (soluble dans l'eau) ou hydrophobe (résistant à la dissolution dans l'eau). Les composés hydrophiles peuvent être rapidement libérés de l'organisme, présentant donc une diminution rapide dans le niveau d'hydroxylases si le rejet cesse. En revanche, un agresseur chimique hydrophobe n'est pas facilement éliminé une fois qu'il est entré dans l'organisme du poisson. Par conséquent, même si le traitement ou les modifications de procédés sont efficaces dans la diminution des rejets, le système des hydroxylases peut encore présenter des niveaux élevés pendant un certain temps. Les composants des effluents peuvent être sorbés dans les sédiments adjacents et présenter des effets à long terme même après la cessation des rejets. Il existe une forte possibilité pour que l'agent chimique hydrophobe soit à l'origine de «faux négatifs», c.-à-d. que le traitement ou les modifications de procédés peuvent sembler inefficaces dans l'élimination de la substance responsable, malgré une forte diminution de cette substance.

Une étude menée à la baie Jackfish (Ontario) par Munkittrick *et al.* (1992), avant et après l'installation d'un traitement secondaire de l'effluent, illustre bien les difficultés rencontrées dans la caractérisation de l'agent causal. Après deux ans d'application d'un traitement secondaire, on n'enregistrait aucune réduction nette de l'activité des hydroxylases au sein de la population. Si l'on suppose qu'un seul agent (ou une seule famille de composés) était la cause de ce phénomène, cette constatation laissait penser *a priori* que l'agresseur était de nature hydrophobe et qu'une «réserve» de sédiments était responsable du maintien de ces niveaux élevés. Cependant, la même population présentait des niveaux normaux d'hydroxylases après la fermeture de l'usine, indiquant que le composé pouvait bien être hydrophile et que le traitement secondaire n'avait pas réussi à l'éliminer. Jusqu'à ce que l'agresseur soit identifié, la complexité des mélanges de produits chimiques dans les effluents ne permet de tirer que des conclusions limitées.

Bien que non spécifique, l'induction d'hydroxylases semble être utile dans la détermination des dangers éventuels liés à l'effluent d'usines de pâte. La détermination d'un agent en particulier et l'évaluation de l'importance et de l'incidence relatives de ce stress est indispensable si l'on veut définir les mesures correctrices et les étapes de restauration nécessaires pour améliorer l'hygiène du milieu.

1.2.4 Technologie de réduction du bois en pâte et de blanchiment

Les composants d'un effluent d'usine de pâte, et subséquemment la toxicité du mélange, sont tributaires des méthodes de réduction du bois en pâte et de blanchiment de la pâte employées par l'usine. La figure 2 fournit un diagramme du procédé de fabrication des pâtes et papiers.

Technologie de réduction du bois en pâte

En général, l'objectif du procédé de réduction du bois en pâte est de séparer les fibres de cellulose que l'on veut conserver des autres composants du bois comme la lignine et l'hémicellulose. L'hémicellulose enrobe les fibres cellulosiques, imprégnant ses pores comme une colle entre la cellulose et la couche sus-jacente, la lignine. La lignine est une molécule complexe qui entoure la structure cellulose-hémicellulose et qui lui donne de la résistance. La dégradation de la lignine entraîne la libération de composés phénolés qui font partie des constituants toxiques de l'effluent.

La réduction du bois en pâte, qui suit l'écorçage mécanique ou chimique, le nettoyage et le déchiquetage du bois (Kringstad et Lindstrom, 1984), peut être effectuée par le procédé au sulfate (kraft) ou par des méthodes mécaniques, chimio-mécaniques, thermomécaniques ou thermomécanochimiques.

Procédé kraft

Les usines de pâte kraft emploient des procédés chimiques pour détacher les fibres de cellulose et dissoudre la lignine. Les copeaux de bois sont d'abord passés à la vapeur afin de chauffer les fragments et de remplacer l'air des espaces internes par de la vapeur d'eau. La liqueur de pâte kraft, composée d'hydroxyde de sodium (NaOH) et de sulfure de sodium (Na_2S), scinde les liens éther de la lignine (Kringstad et Lindstrom, 1984), provoquant la dégradation au cours du procédé de cuisson. Ensuite, l'application d'air sous pression sert à séparer complètement les copeaux en fibres (Tappi Press, 1993).

Réduction en pâte mécanique

Le procédé de réduction en pâte mécanique sépare les fibres du bois par broyage et défibrage. Environ 90 % du bois entrant dans le processus fait partie de la pâte qui en résulte. Étant donné les conditions physiques intenses qu'elle engendre, la séparation mécanique du bois endommage souvent une partie des fibres de cellulose (Madore, 1992).

Réduction en pâte chimique ou thermomécanique

Les usines qui utilisent la réduction chimique ou thermomécanique ont recours à des procédés chimiques ou thermiques ainsi qu'à des facteurs mécaniques pour maximiser la quantité de cellulose extraite du bois. Certaines usines se servent également de méthodes chimiques, thermiques et mécaniques pendant tout le processus. Ce sont des usines thermomécanochimiques.

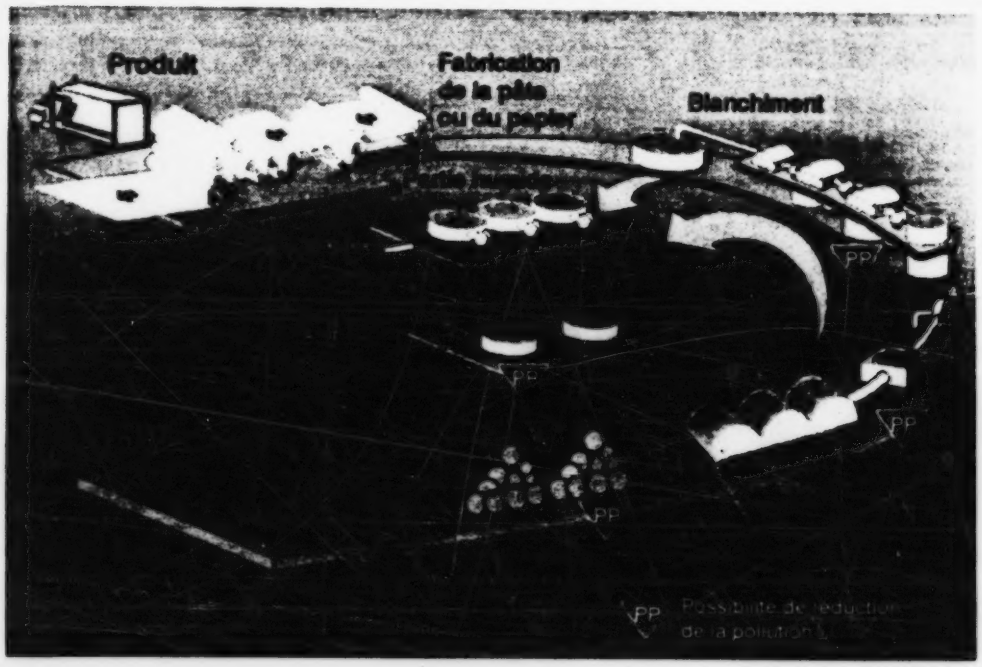


Figure 2 : Aperçu des procédés de fabrication des pâtes et papiers (Tiré de : *Office of Water*, U.S. EPA)

Technologie de blanchiment

Après la réduction du bois en pâte, que ce soit par des procédés chimiques, mécaniques ou thermomécanochimiques, les fibres de pâte sont souvent blanchies afin de répondre à la demande des consommateurs sur le plan de l'éclat du papier fin.

Au début de l'étape de blanchiment, il reste entre 5 % et 10 % de la lignine initiale (Bonsor *et al.*, 1988). Étant donné sa couleur naturelle, qui fonce avec le temps, la lignine doit être décolorée afin d'assurer une résistance, une stabilité et un éclat durables. Les procédés de délignification, notamment à l'oxygène ou au chlore, peuvent servir à dégrader davantage la lignine en pâte écrue sans endommager la structure de la cellulose (Bettis, 1991, dans Patrick). Cette opération permet d'augmenter considérablement la blancheur et la résistance du papier; toutefois, des niveaux quantifiables de composés organochlorés rémanents et bioaccumulables peuvent être détectés après l'utilisation de certaines techniques de blanchiment.

Chlore sous forme moléculaire

Bien que commun par le passé, le recours au blanchiment au chlore moléculaire a diminué considérablement avec l'établissement de règlements gouvernementaux et les craintes sur le plan environnemental relativement aux effets néfastes possibles des dioxines et des furannes. La détection de dioxines et de furannes dans les effluents a favorisé l'emploi de technologies de remplacement utilisant le blanchiment au dioxyde de chlore, à l'oxygène ou au peroxyde d'hydrogène.

Dioxyde de chlore

Beaucoup d'installations faisant le blanchiment de la pâte, tant au Canada qu'aux États-Unis, ont substitué le dioxyde de chlore au chlore moléculaire. Le degré de substitution atteint varie d'un endroit à l'autre, quoique bon nombre d'usines visent une substitution totale du dioxyde de chlore, ou aient atteint cet objectif. Les opérations au dioxyde de chlore nécessitent une quantité moindre de solvant de blanchiment pour la dégradation de la lignine comparativement aux procédés utilisant le chlore moléculaire; de plus, cette méthode réduit la production de composés organochlorés dangereux et bioaccumulables.

Délignification à l'oxygène

La délignification à l'oxygène comporte l'utilisation d'un gaz oxygéné, d'hydroxyde de sodium, d'une pression et d'une température élevées. Elle est très efficace comme étape supplémentaire avant le blanchiment au chlore ou au dioxyde de chlore. Lorsque la délignification à l'oxygène est intégrée au procédé, il faut environ la moitié de la quantité normale de chlore pour le blanchiment de la pâte.

Peroxyde d'hydrogène

Plutôt que d'être blanchies au chlore, les pâtes produites par procédés chimiques ou mécaniques sont souvent traitées au peroxyde d'hydrogène (Brooks *et al.*, 1994; *ChemInfo*, 1994). Cette méthode de blanchiment permet d'obtenir un produit de grande qualité, avec beaucoup d'éclat (Strunk, 1991, dans Patrick) satisfaisant aux exigences des consommateurs.

Ozone

Le blanchiment à l'ozone peut être utilisé pour remplacer le procédé utilisant le peroxyde d'hydrogène, bien que l'on doive d'abord effectuer la délignification à l'oxygène. Le gaz oxygéné est récupéré au moyen d'un système de recyclage du gaz, et la partie qui n'est pas complètement expansée au cours du procédé peut être retournée dans le procédé de délignification à l'oxygène pour être réutilisée (Shackford, 1991, dans Patrick).

1.2.5 Mise en place d'une technologie visant la conformité aux règlements existants et futurs en matière d'environnement

Beaucoup d'entreprises du secteur des pâtes et papiers ont mis au point une technologie en vue de satisfaire aux exigences des normes présentes et futures en matière d'environnement. L'anticipation de la portée, plutôt que de l'orientation, des règlements futurs en matière d'environnement représente un élément moteur important des nouvelles technologies de réduction du bois en pâte chimique mises au point au cours des dix dernières années (Lora et Pye, 1995). Avec la mise en place d'un traitement secondaire dans tout le bassin, les ingénieurs et les concepteurs ont réévalué les opérations et établi de nouvelles technologies qui devraient atténuer les craintes au chapitre de l'environnement tout en maintenant la qualité du produit à un niveau acceptable. La plupart des installations existantes se sont tournées vers des procédés de blanchiment **exempts de chlore moléculaire** et **entièrement exempts de chlore**, tandis que d'autres ont décidé de mettre en place une **usine de pâte exploitée en circuit fermé** ou **entièrement exempte d'effluent.**

Blanchiment exempt de chlore moléculaire

La technologie de blanchiment exempte de chlore moléculaire sert surtout aux installations existantes auxquelles on apporte des améliorations pour satisfaire aux normes environnementales. On reconnaît généralement que les concepteurs de nouvelles usines vont aller au-delà des procédés de blanchiment exempts de chlore moléculaire pour satisfaire aux normes de blanchiment entièrement exempt de chlore et d'usines totalement exemptes d'effluent.

L'utilisation de **dioxyde de chlore** (ClO_2) au lieu de **chlore moléculaire** (CL_2) dans le procédé de blanchiment est peut-être le mécanisme le mieux établi en vue de réduire la quantité de composés organochlorés rejetés dans les effluents d'usines. Étant donné que la formation des **composés organochlorés** (AOX) est directement proportionnelle à la consommation de chlore moléculaire, la substitution de ClO_2 au Cl_2 permet de diminuer la quantité de chlore réactif disponible et, par conséquent, la quantité d'AOX produits (Graves *et al.*, 1993). La substitution à 100 % de dioxyde de chlore a permis à elle seule de diminuer de 80 % le total des AOX, de 42 % la DBO, de 62 % la coloration induite et de 60 % la toxicité de l'effluent (Graves *et al.*, 1993).

Le procédé de recyclage des filtrats du blanchiment, mis au point par Champion International, utilise le blanchiment au dioxyde de chlore en plus de récupérer les filtrats de chlore au moyen d'un système traditionnel de reprise utilisé dans le procédé kraft (Canovas et Maples, 1995). Ce procédé de récupération permet de diminuer de 86 % les rejets d'AOX, et de 72 % la DBO dans l'effluent, environ 91 % de tous les AOX produits au cours du lavage de la pâte brune étant détruits avant d'atteindre la chaudière de récupération (Canovas et Maples, 1995).

Parmi les autres technologies novatrices, mentionnons la délignification à l'oxygène, ou pré-blanchiment à l'oxygène, effectué à l'étape de la réduction du bois en pâte. Cette méthode convertit la lignine, substance ressemblant à la colle, en un composé soluble, ce qui diminue le besoin de traitements chimiques à cette fin. Son rôle dans la réduction des AOX vient de l'enlèvement des matières organiques qui pourraient autrement interférer dans les réactions de substitution du chlore (Dence et Annergren, 1979). À elle seule, la délignification à l'oxygène permet de réduire la quantité d'AOX de 41 % (Graves *et al.*, 1993), mais combinée à d'autres technologies nouvelles, dans des usines de la Suède, elle aurait réduit les AOX tout en augmentant l'efficacité des procédés de fabrication (Meadows, 1995a).

Outre ses efforts concrets de substitution, Alcell Technologies Inc. a mis au point le procédé «organosolv», qui permet de transformer la pâte brute de manière à faciliter le blanchiment et à augmenter la sensibilité à la délignification à l'oxygène (Lora et Pye, 1995).

Blanchiment entièrement exempt de chlore

Albert (1994a) traduit le sentiment de beaucoup de représentants de l'industrie lorsqu'il affirme que l'on ne se demande plus si le procédé à base de chlore sera délaissé comme technologie dominante de blanchiment pour être remplacé par une méthode entièrement exempte de chlore; la question qui reste est de savoir quand cela va se réaliser et à quel rythme le changement se fera. On trouve aussi l'expression de cette opinion dans Lora et Pye (1995), qui considèrent l'incertitude liée aux futurs règlements en matière d'environnement et aux exigences des consommateurs ainsi que les craintes des bailleurs de fonds en capital de risque comme étant les forces motrices favorisant l'intégration des procédés les plus récents de blanchiment entièrement exempt de chlore dans la conception des nouvelles usines de pâte et papier kraft.

Le blanchiment exempt de chlore sous toutes ses formes peut nécessiter le recours à des composés de remplacement comme le **peroxyde d'hydrogène** (H_2O_2), l'**ozone** (O_3) ou les **peracides** (désignation générale, Â). Le blanchiment au peroxyde d'hydrogène est cependant plus coûteux que le procédé exempt de chlore moléculaire (où il y a substitution de dioxyde de chlore), un montant de 26 à 29 $ US étant ajouté au prix de la **tonne métrique séchée à l'air**. Ces coûts additionnels s'appliquant à tout le processus (c.-à-d. la production de matières) sont compensés jusqu'à un certain point par des économies de 5 $ la tonne métrique séchée à l'air en raison de la diminution des coûts liés à la formation de produits chimiques (Brooks *et al.*, 1994). L'étude ne tient pas compte des avantages découlant des modifications de procédés, d'une sécurité accrue dans les opérations, d'une corrosion moins marquée de l'équipement, de l'atténuation des répercussions environnementales, d'une meilleure position face à la concurrence liée à l'intégration de la technologie entièrement exempte de chlore ainsi que de la préparation immédiate en vue de règlements futurs possibles en matière d'environnement.

Le recours au blanchiment à l'ozone, conjugué au blanchiment au peroxyde d'hydrogène, pourrait déboucher sur des économies nettes de 3 $ la tonne métrique séchée à l'air (Brooks *et al.*, 1994), atténuant en partie cette différence de prix. L'ozone est également utilisé de façon indépendante, la première usine de blanchiment à l'ozone fonctionnant avec succès en Suède (Meadows, 1995b). À l'échelle internationale, il existe huit usines de blanchiment à l'ozone, sept d'entre elles utilisant un procédé entièrement exempt de chlore (Albert, 1994a).

Comme la conversion au blanchiment à l'ozone est au départ une entreprise nécessitant beaucoup de capitaux, les chercheurs envisagent l'utilisation de peracides. Bien que l'on connaisse

plusieurs facteurs restrictifs dans l'utilisation de peracides (soit la nécessité de régler minutieusement le pH, la sélectivité médiocre, le coût élevé de la production sur place et les problèmes de sécurité qui s'y rattachent), cette méthode est préconisée comme étant une technologie «intermédiaire» ou de transition rentable. Les entreprises qui veulent reporter l'engagement de dépenses considérables peuvent utiliser le blanchiment aux peracides jusqu'à ce que la technologie entièrement exempte de chlore soit mise au point (Ricketts, 1995).

Usine de pâte exploitée en circuit fermé

Compte tenu des principes fondamentaux qui sous-tendent la prévention de la pollution, on est en droit de penser que l'objectif de l'industrie dans les pays développés sera sans aucun doute la mise en place d'usines de pâte exploitées en circuit fermé. Les stratèges s'entendent pour dire que les restrictions touchant la mise au point d'usines exploitées en circuit fermé ne seront pas liées surtout à la technologie, mais plutôt aux facteurs économiques et aux méthodes de gestion. Patrick *et al.* (1994) affirment que d'ici l'an 2000, l'établissement d'usines exploitées en circuit fermé ne sera pas limité outre mesure par des considérations technologiques, mais bien par de nouveaux facteurs de nature organisationnelle et des exigences commerciales. Selon Albert (1994b), la technologie existe déjà en ce qui a trait à l'établissement d'usines exploitées en circuit fermé, et elle est effectivement mise en place dans des installations comme l'usine Chetwynd de la Louisiana-Pacific Canada, située à Chetwynd (Colombie-Britannique) (Young, 1994), et l'usine de Meadow Lake de la Millar Western Pulp Ltd., située à Beaver River (Saskatchewan) (Fosberg et Sweet, 1994).

L'assise d'une **usine exempte d'effluent** repose sur un système efficace de reprise d'eau. Les systèmes de reprise actuels utilisent principalement l'évaporation, bien que la technologie de cristallisation puisse être prometteuse pour l'avenir (Kohler, 1994). L'intégration de l'évaporation à plusieurs techniques exemptes de chlore pour la réduction de la pâte peut permettre l'établissement d'usines de pâte kraft blanchie exemptes d'effluent (Albert, 1994b).

L'usine de Meadow Lake en Saskatchewan, qui est entièrement exempte de chlore, utilise le procédé de blanchiment au peroxyde d'hydrogène, ainsi que des évaporateurs à thermocompression comme système de reprise d'eau. Comparativement aux usines traditionnelles de blanchiment de la pâte thermomécanochimique, il y a réduction de l'utilisation d'eau, qui est passée de 568 m^3/h à 68 m^3/h, soit une diminution par un facteur de huit. La reprise efficace de l'eau permet une réutilisation nette de 391 m^3/h sur un total de 400 m^3/h d'effluent passant dans le système. Les déchets solides, qui sont recueillis à partir de l'effluent, sont brûlés dans la chaudière. Le bain de fonte est ensuite coulé dans des lingotières et entreposé à l'usine en vue de la récupération ultérieure de produits chimiques (Fosberg et Sweet, 1994). Le résultat est un rejet nul d'effluent dans l'environnement.

À l'heure actuelle, des évaporateurs à recompression mécanique de la vapeur (semblables à ceux de l'usine de Meadow Lake) sont utilisés à l'usine de Chetwynd (Colombie-Britannique), bien que l'usine ait commencé à fonctionner en circuit fermé en utilisant le procédé de cristallisation par refroidissement. Trois problèmes ont favorisé la réalisation de la conversion. D'abord, les cristaux étaient difficiles à séparer de l'effluent jusqu'à l'installation d'une nouvelle composante mécanique. Ensuite, les tuyaux étaient souvent obstrués de glace en raison de l'accélération du transfert de chaleur et de la dégradation subséquente de la taille des cristaux. Enfin, la présence de dioxyde de carbone contribuait à la précipitation imprévisible et indésirable du carbonate de calcium dans les tuyaux des cristalliseurs (Young, 1994).

Bien qu'il n'existe aucune usine pilote de blanchiment de la pâte kraft en circuit fermé, Albert (1994b) prévoit que la technologie actuelle fournira les structures nécessaires à l'établissement de ce type d'installations. Une usine modèle intégrera l'évaporation, la récupération et la délignification à l'oxygène aux procédés utilisés. Une évaluation des coûts révèle qu'une usine de blanchiment de la pâte kraft utilisant un procédé entièrement exempt de chlore et exploitée en circuit fermé coûterait 40 millions de $ de moins qu'une nouvelle usine de pâte kraft blanchie exempte de chlore moléculaire. De plus, une fois que les dépenses en capital seraient engagées, le produit de cette usine coûterait 35 $/tonne de moins que celui provenant d'une usine produisant du papier kraft blanchi de qualité et de résistance comparables (Albert, 1994b).

1.2.6 Rejets Rendement et améliorations

On devra recueillir des données à jour sur la conformité, tant au Canada qu'aux États-Unis, afin de dresser un tableau exact des progrès réalisés en vue de la conformité aux exigences réglementaires.

Le tableau 2, auquel on fait référence dans la présente section, est actualisé par rapport aux données de 1992, soit les données les plus récentes concernant l'ensemble du bassin qui sont disponibles en provenance du Canada et des États-Unis par l'intermédiaire du *Permit Compliance System* relevant de l'EPA américaine. Ce tableau ne tient pas compte des réductions importantes réalisées jusqu'à présent ou en voie de réalisation d'ici la fin de 1995, moment où toutes les usines canadiennes devraient appliquer un traitement secondaire des effluents, ou une technologie comparable.

1.2.7 Résultats

- Les efforts de l'industrie, qui visaient à l'origine la diminution de la DBO (demande biochimique en oxygène), du TSS (total des solides en suspension) et de la toxicité aiguë, se sont ensuite orientés vers le suivi des dioxines, des dibenzofurannes et des composés halogénés adsorbables (AOX) et ils portent maintenant sur le suivi de marqueurs biologiques comme les effets sublétaux sur la reproduction, la stimulation des enzymes du foie (EROD) et la recherche d'autres indicateurs de ce type. Cette évolution s'est faite parallèlement aux recherches menées par la Commission au cours des dernières années.

- Ces derniers phénomènes semblent s'appliquer au procédé de réduction du bois en pâte en général et non pas seulement aux usines de pâte kraft blanchie. La détermination des causes, notamment celle de l'agent ou du contaminant en cause, pose toujours certains problèmes.

Tableau 2.
Rejets de polluants classiques par l'industrie des pâtes et papiers dans le bassin des Grands Lacs

				DBO moyenne (T/J)		TSS moyen(T/J)		Débit moyen (1 000m³/J)	
	Eaux réceptrices	**Nom de la société**	**Ville**	**1987**	**1992**	**1987**	**1992**	**1987**	**1992**
	Lac Érié								
1	Rivière Chagrin	Chase Bag Co.	Chagrin Falls	,04	,10	,02	,04	2,70	1,13
2	Rivière Black	Port Huron Paper Co.	Port Huron	,54	1,04	,35	,33	24,50	14,30
3	Rivière Raisin	Simplex Industries	Palmyra	,04		,06		,90	
4	Lac Érié	U.S. Gypsum Co.	Gypsum	,04	,49	,35	,10	7,30	5,12
5	Rivière St. Clair	James River Corp.	Port Huron	NA	,27	NA	,26	NA	9,19
			TOTAUX	**,66**	**1,90**	**,78**	**,73**	**35,40**	**29,74**
	Lac Huron								
6	Rivière Thunder Bay	Abitibi Corp.	Alpena	1,41	1,12	4,24	4,64	7,20	5,15
7	Rivière Spanish	E.B. Eddy Forest Prods.	Espanola	1,83	2,15	4,51	3,59	115,50	119,11
8	Rivière Thunder Bay	Fletcher Paper Co.	Alpena	,32	,23	,07	,07	3,80	2,19
9	Rivière des Français	MacMillan-Bloedel Ltd.	Sturgeon Falls	37,05	20,56	2,37	2,58	11,90	9,73
10	Rivière Cheboygan	Proctor & Gamble Paper	Cheboygan	,03	,002	,02	,002	4,60	1,51
11	Rivière St. Mary's	St. Mary's Paper	Sault Ste. Marie	2,96	5,50	3,45	2,66	26,90	28,01
			TOTAUX	**43,60**	**29,562**	**14,66**	**13,542**	**169,90**	**165,70**
	Lac Michigan								
12	Ruisseau Portage	Performance Papers	Kalamazoo	,23	fermée	,02	fermée	1,50	fermée
13	Rivière Fox	Appleton Papers	Combined Locks	,30	,48	,25	,47	21,00	19,61
14	Peshtigo	Badger Paper Mills	Peshtigo	,31	,47	,08	,20	5,80	7,69
15	Lac Butte des Morts	P.H. Glatfetter Co.	Neenah	,34	,55	,47	,62	14,50	16,84
16	Rivière Kalamazoo	James River Corp. KVP Group	Kalamazoo	,17	,42	,24	,27	15,80	15,89
17	Rivière Menominee	Champion International	Quinnesec	1,25	,22	2,64	2,64	48,40	57,04
18	Rivière Fox	Fort Howard Paper Company	Green Bay	1,70	,84	1,28	1,24	46,00	60,86
19	Rivière St. Joseph	French Paper Co.	Niles	,12	,14	,10	,09	1,90	1,59
20	Rivière Fox	Green Bay Packaging	Green Bay	,36	,29	,39	,19	7,40	6,21
21	Rivière Fox	National-American Can Corp.	Green Bay	,87	,75	,92	,55	38,20	30,55
22	Rivière Fox	Riverside Paper Corp.	Appleton	1,08	1,71	,91	2,26	7,80	7,79
23	Petit lac Butte des Morts	Kimberly-Clark Corp.	Neenah	,25	,30	,02	,02	7,50	8,11
24	Rivière Fox	Kimberly-Clark Corp.	Neenah	,03	,16	,07	,12	12,30	13,67
25	Rivière Manistique	Manistique Pulp and Paper	Manistique	,88	,88	2,49	1,38	13,80	18,45
26	Rivière Escanaba	Mead Corp.-Escanaba Paper	Escanaba	1,01	1,37	3,13	2,44	131,30	131,34
27	Rivière Kalamazoo	Mead Corp.-Otsego Mill	Otsego	,10	,18	,08	,17	1,50	1,21
28	Rivière Kalamazoo	Menasha Corp.	Otsego	,05	,77	,02	1,26	2,00	6,06
29	Rivière Menominee	Menominee Paper Corp.	Menominee	1,05	,08	,15	,12	1,20	2,95
30	Rivière Fox	Midtec Paper Corp.	Kimberly	,64	,58	1,18	,58	40,70	45,47
31	Rivière Menominee	Niagara of Wisconsin	Niagara	,89	1,35	1,28	1,14	21,00	22,61
32	Rivière Fox	Nicolet Paper Co.	DePere	,78	,93	,24	,29	11,90	9,61
33	Lac Michigan	Packaging Corp. of America	Filer City	,19	,23	,48	,51	20,30	20,07
34	Rivière Kalamazoo	Plainwell Paper Co.	Plainwell	,13	,09	,19	,15	9,20	9,48
35	Rivière Fox	Proctor & Gamble Paper	Green Bay	,56	,20	1,08	,15	17,40	9,32
36	Rivière Menominee	Scott Paper Co.	Marinette	,78	,73	,65	,29	22,00	16,12
37	Rivière Oconto	Scott Paper Co.	Oconto Falls	,35	,31	,23	,20	4,90	5,52
38	Rivière Wolf	Shawano Paper Mills	Shawano	,40	,52	,12	,08	6,60	6,65
39	Rivière Fox	Thilmany Pulp & Paper Co.	Kaukauna	,70	,76	2,22	1,04	71,40	66,87

Tableau 2, (Suite).
Rejets de polluants classiques par l'industrie des pâtes et papiers dans le bassin des Grands Lacs

	Eaux réceptrices	Nom de la société	Ville	DBO moyenne (T/J) 1987	DBO moyenne (T/J) 1992	TSS moyen(T/J) 1987	TSS moyen(T/J) 1992	Débit moyen (1 000m³/J) 1987	Débit moyen (1 000m³/J) 1992
Lac Michigan, suite									
40	Rivière Paw Paw	Silverleaf Paper	Watervliet	,39	,11	,36	,17	,90	1,78
41	Rivière Fox	Wisconsin Tissue Mills	Menasha	,30	,52	,33	,53	10,90	21,52
42	Ruisseau Lacey	Simplicity Pattern Co.	Niles	SO	,02	SO	,03	SO	,88
			TOTAUX	**21,03**	**16,36**	**21,62**	**19,2**	**615,10**	**614,76**
	Lac Ontario								
43	Rivière Oswego	Armstrong Cork Co.	Volney	,24	,23	,37	,22	8,50	8,27
44	Ruisseau Twelve Mile	Beaver Wood Fibre Co.	Thorold	1,98	1,46	1,09	,62	15,90	14,00
45	Rivière Moose	Burrows Paper Corp.	Lyonsdale	,13	,07	,17	,06	2,10	4,41
46	Ruisseau Twelve Mile	Domtar Specialty Fine Papers	St. Catharines	,68	,88	,15	,30	9,30	9,35
47	Rivière Trent	Domtar Packaging	Trenton	7,21	6,38	2,40	,64	3,40	4,09
48	Ruisseau Twelve Mile	Thorold Specialty Papers	Thorold	2,25	2,47	,92	1,24	25,80	25,36
49	Rivière Black	Georgia-Pacific Co.	Lyons Falls	1,64	1,15	2,21	2,55	15,90	14,04
50	Ancien canal Welland	Kimberly-Clark of Canada	St. Catharines	,41	,21	,29	,08	9,90	11,09
51	Rivière Black	Latex Fibre Ind.	Brownville	,08	,10	,10	,12	1,50	1,93
52	Rivière Beaver	Latex Fibre Ind.	Croghan	,36	,10	,29	,10	21,90	10,05
53	Ruisseau Twelve Mile	QUNO Corporation	Thorold	4,24	,84	4,75	1,84	109,10	57,29
54	Rivière Salmon	Schoeller Technical	Richland	,31	,07	,08	,03	6,50	6,44
55	Rivière Black	St. Regis Paper Co.	Deferiet	,23	,30	,54	1,05	43,50	49,37
56	Rivière Napanee	Strathcona Paper Company	Napanee	,13	,12	,13	,16	2,90	
57	Rivière Trent	Sonoco	Trenton	1,71	1,95	,92	,38	25,80	2,31
58	Ruisseau Whitney	U.S. Gypsum Co.	Oakfield	,08	,09	,07	,10	15,40	17,31
			TOTAUX	**21,68**	**17,05**	**14,48**	**9,76**	**317,40**	**235,31**
	Lac Supérieur								
59	Lac Supérieur	James River	Marathon	13,55	12,24	2,48	1,64	61,60	
60	Chequamegon Bay	James River	Ashland	,24	,24	,29	,17	4,90	5,17
61	Port de Thunder Bay	Provincial Papers	Thunder Bay	3,40	3,91	,90	1,29	50,50	42,66
62	Baie Thunder	Abitibi-Price Ft. William	Thunder Bay	12,44	9,3	1,84	1,14	26,00	23,70
63	Baie Thunder	Abitibi-Price Thunder Bay	Thunder Bay	19,50	fermée	1,40	fermée	37,80	fermée
64	Baie de Nipigon	Domtar Packaging Ltd.	Red Rock	15,89	13,58	4,79	4,35	96,60	86,00
65	Rivière Kaministikwia	Avenor	Thunder Bay	44,95	24,08	11,34	16,83	222,00	205,64
66	Lac Supérieur	Kimberly-Clark Corp.	Munising	,13	,10	,07	,04	20,00	20,53
67	Baie Jackfish	Kimberly-Clark of Canada	Terrace Bay	24,85	1,92	5,57	4,72	115,00	108,35
68	Rivière Ontonagon	Stone Container	Ontonagon	3,89	,51	11,36	1,29	26,80	19,82
69	Lac Supérieur	Superior Fiber Products	Weyerhauser	2,21	,94	,11	,10	2,50	,48
			TOTAUX	**141,05**	**66,82**	**40,15**	**31,57**	**663,70**	**512,35**
	Saint-Laurent								
70	Fleuve St. Lawrence	Domtar Specialty Fine Papers	Cornwall	13,88	17,43	7,07	6,47	102,40	140,74
71	Rivière Oswegatchie	James River Corp.	Gouverneur	,02	,07	,02	,04	,80	3,20
72	Rivière Oswegatchie	Papyrus-Newton Falls	Newton Falls	,37	,16	,28	,20	25,50	21,83
73	Rivière Raquette	Potsdam Paper Co.	Potsdam	,33	,44	,09	,09	5,30	4,51
74	Rivière Raquette	Norfolk Paper Co.	Norfolk	,19	,168	,15	,08	22,70	10,85
			TOTAUX	**14,79**	**18,268**	**7,61**	**6,88**	**156,70**	**181,13**

Source: Données colligées par le personnel de la CMI

- Malgré cette évolution, les indicateurs susmentionnés ont une certaine pertinence dans les pays producteurs de pâte.

- Comme le préconisait le Conseil de la qualité de l'eau des Grands Lacs au début et vers le milieu des années 80, l'industrie du bassin des Grands Lacs a réalisé en grande partie la transition vers le traitement secondaire des effluents et l'utilisation du dioxyde de chlore plutôt que du chlore dans le procédé de blanchiment. Les effets imputables à la toxicité aiguë des effluents ont été en grande partie éliminés et la quantité de dioxine présente dans les effluents a été réduite de façon importante.

- La modification de la technologie de blanchiment indique que cette industrie applique une approche axée sur la prévention de la pollution plutôt que sur la lutte contre la pollution. Cette nouvelle approche se manifestera encore par d'autres changements dans les procédés, notamment le recours à l'ozone et au peroxyde d'hydrogène pour le blanchiment, le blanchiment en cycles fermés, la délignification à l'oxygène, et finalement, l'usine de pâte exploitée en circuit fermé.

- Le gouvernement du Canada a entrepris de concert avec l'industrie un projet conjoint échelonné sur cinq ans et visant la conduite de recherches sur la technologie des usines de pâte exploitées en circuit fermé. De plus, l'industrie suédoise semble s'orienter dans cette direction. La gestion totale des déchets, en particulier des déchets gazeux ou solides, doit être envisagée sérieusement aux fins de l'implantation d'usines de pâte exploitées en circuit fermé.

- Il faut se tourner vers la «surveillance intégrée», les «marqueurs biologiques», les «bio-indicateurs» et d'autres mesures semblables conçues pour assurer un suivi environnemental. Certains outils sont déjà mis au point, mais l'objectif de leur utilisation régulière représente un défi de taille.

1.2.8 Recommandation

Étant donné l'évolution du secteur des pâtes et papier, qui est passé de la lutte contre la pollution à la prévention de la pollution, de l'étude de simples indicateurs classiques de la qualité des effluents à la prise en compte de bio-indicateurs plus complexes dans les écosystèmes adjacents, et compte tenu de la nouvelle approche par grappes multi-milieux adoptée par certains organismes de réglementation, de l'ampleur des recherches en cours portant sur les bio-indicateurs et les technologies nouvelles ainsi que des préoccupations relatives à la durabilité de la foresterie, les Parties devraient préparer un rapport conjoint s'inscrivant dans le cadre de la Conférence sur l'état de l'écosystème des Grands Lacs (CÉÉGL), qui définira plus précisément la situation et l'orientation de ce secteur de l'industrie.

1.3 PESTICIDES DES CULTURES EN LIGNE ET ENJEUX CONNEXES EN AGRICULTURE

1.3.1 Contexte

Le bassin des Grands Lacs est l'une des régions de cultures les plus intensives en Amérique du Nord et, à ce titre, il fait l'objet d'épandages importants de pesticides. Dans son rapport présenté à la Commission en 1983, le **Conseil de la qualité de l'eau des Grands Lacs** aborde l'enjeu de la réduction de la pollution provenant de sources diffuses, notamment la pollution due aux pesticides, et conclut que l'un des outils de gestion les plus appropriés serait de réduire le travail du sol (pratiques aratoires antiérosives, y compris la culture sans labour).

En 1986-1987, le Conseil de la qualité de l'eau des Grands Lacs a terminé une évaluation initiale de l'utilisation urbaine et rurale de pesticides dans le bassin des Grands-Lacs (Conseil de la qualité de l'eau, 1987). Cette évaluation indique que les principaux épandages à des fins agricoles se faisaient dans les comtés adjacents au lac Érié, où les cultures dominantes sont celles du maïs et du soya. Dans le même rapport, le Conseil précise que l'épandage de certains pesticides à des fins non agricoles, en particulier dans les zones urbaines ou périurbaines, dépasse l'épandage par acre effectué à des fins agricoles. Depuis la fin de cette première étude du Conseil, l'intérêt suscité par l'utilisation de pesticides à des fins agricoles s'est manifesté davantage à l'égard des herbicides utilisés actuellement, en particulier les triazines, plutôt que pour les pesticides utilisés autrefois comme le DDT.

L'épandage de pesticides sur les cultures en ligne a été examiné dans la partie américaine du bassin des Grands Lacs pour 1991 et 1993. La quantité de pesticides utilisés pour les récoltes de maïs et de soya du côté américain s'élevait au total à plus 11 millions de kilogrammes d'**ingrédient actif** pour 1991 et à près de 10 millions de kilogrammes pour 1993. Le personnel de la Commission a également colligé des données relatives à l'épandage de pesticides sur les cultures en ligne pour chaque comté, en accordant une importance particulière au bassin du lac Érié. Ces données ont ensuite été enregistrées dans un système d'information géographique. Les figures 3, 4 et 5 illustrent respectivement l'utilisation des pesticides dans le bassin des Grands Lacs pour la culture du maïs, celle du soya et pour l'ensemble de ces deux cultures. Ces données confirment que les comtés choisis dans le bassin du lac Érié sont parmi ceux qui font l'utilisation la plus intensive de pesticides pour ces cultures dans le bassin des Grands Lacs.

L'épandage d'atrazine (2-chloro-4-éthylamino-6-isopropylamino-s-triazine) présentait un intérêt particulier, étant donné la présence connue de cette substance dans des tributaires du lac Érié utilisés comme source d'approvisionnement public en eau potable.

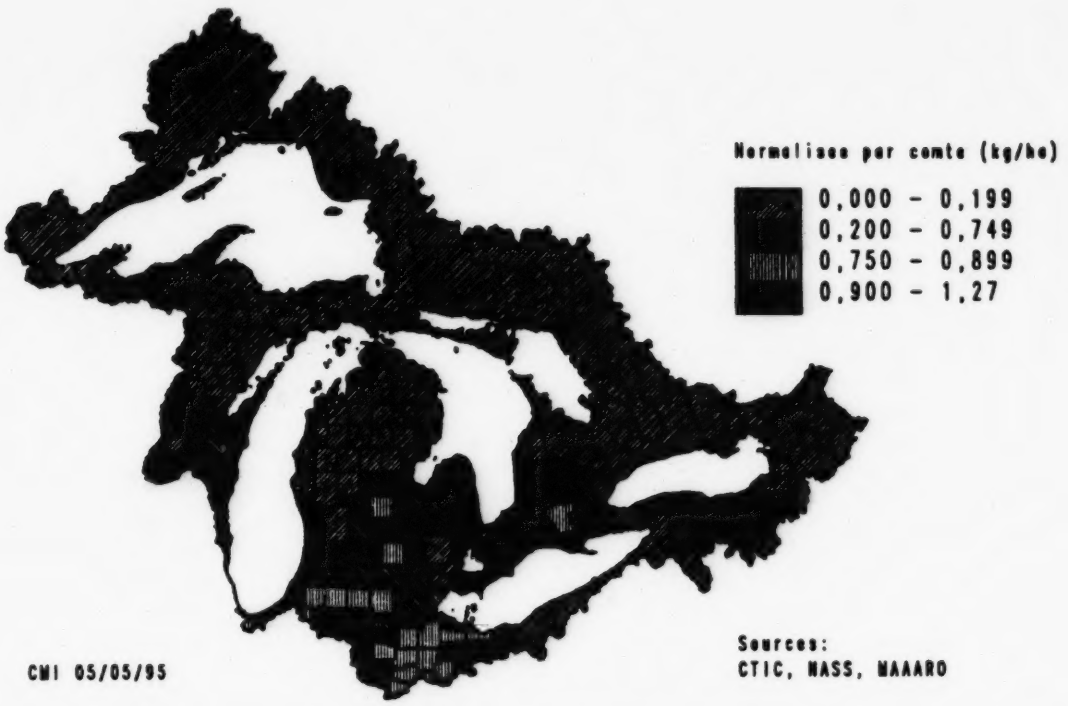


Figure 3 :
Utilisation de pesticides pour la culture du maïs en 1993

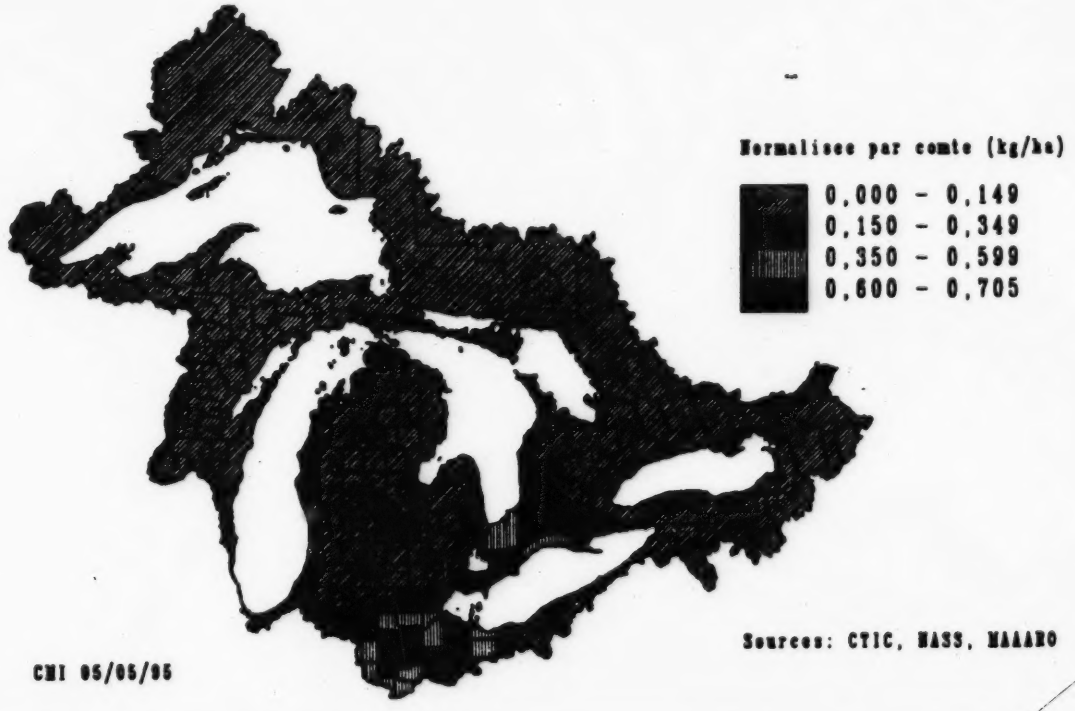


Figure 4 :
Utilisation de pesticides pour la culture du soya en 1993

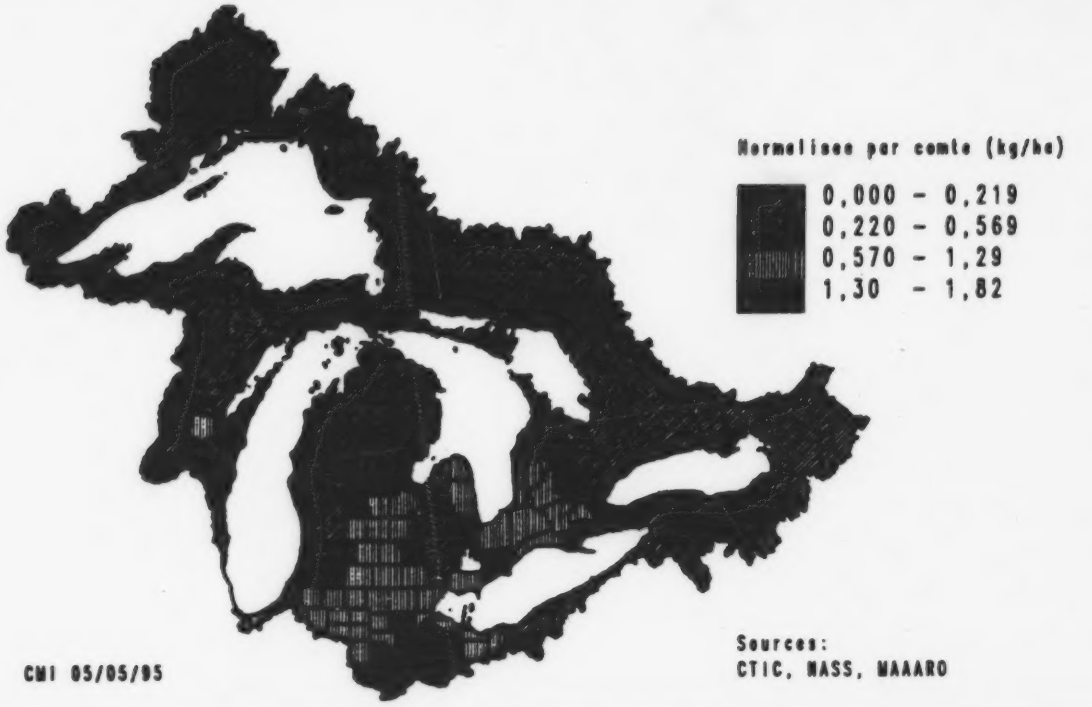


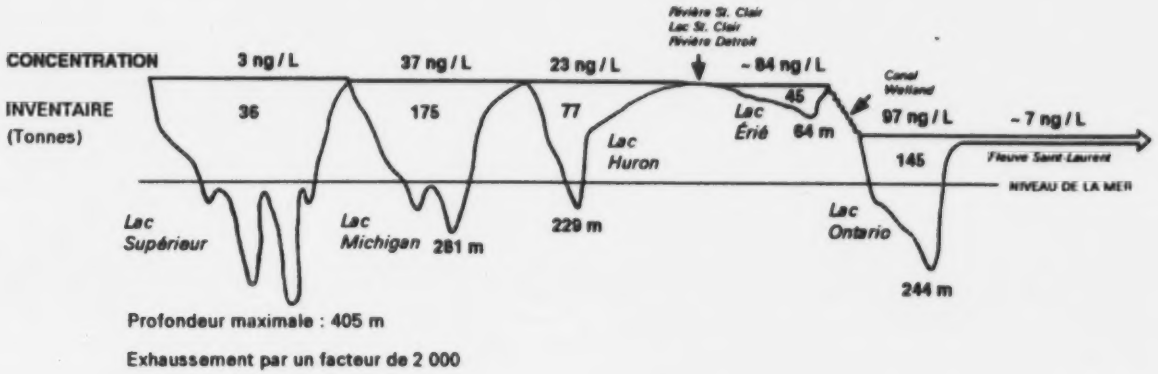
Figure 5 :
Utilisation de pesticides pour les cultures de maïs et de soya en 1993

Jusque récemment, peu de données étaient accessibles sur la présence d'atrazine dans les eaux libres du lac. Une première estimation de l'atrazine totale et de son produit de transformation la **déséthylatrazine** (DEA) était de 68 tonnes métriques dans le lac Érié en 1993; la concentration d'atrazine dans les eaux du lac pour la même année était respectivement de 75 ng/L et de 93 ng/L pour le bassin ouest et le bassin est du lac Érié (Schottler et Eisenreich, 1994). Les concentrations de DEA en 1993 dans le bassin ouest et le bassin est étaient respectivement de 47 ng/L et de 67 ng/L. Schottler et Eisenreich (1994) concluent donc que l'atrazine est bien mélangée verticalement et horizontalement dans les lacs, ce qui indique que sa durée de vie dans la colonne d'eau doit être longue, la demi-vie étant de l'ordre de quelques mois à plusieurs années.

De fait, leur estimation de la demi-vie de l'atrazine variait entre cinq mois dans le bassin occidental du lac Érié et jusqu'à 10 ans dans le lac Michigan. Par conséquent, comme le définit l'*Accord relatif à la qualité de l'eau dans les Grands Lacs*, l'atrazine est l'un des rares pesticides utilisés en agriculture qui pourrait, compte tenu des estimations relatives à sa demi-vie dans l'environnement, être considérée comme étant une substance toxique rémanente.

Les niveaux de concentration de l'atrazine ont été examinés ailleurs dans l'écosystème du bassin des Grands Lacs. On trouvera à la figure 6 une estimation de la concentration et de la quantité d'atrazine pour chacun des Grands Lacs, de même que la concentration approximative de l'atrazine dans le fleuve Saint-Laurent. Les concentrations annuelles moyennes pour le fleuve Saint-Laurent étaient respectivement de 10,4 ng/L et de 3,4 ng/L en 1990 et en 1991 (Lemieux, Quémerais et Lum, 1995). La version préliminaire du plan d'aménagement panlacustre du lac Michigan (EPA américaine, 1993) mentionne l'atrazine dans la liste des polluants nouveaux et la définit comme un polluant qui peut avoir une incidence sur l'intégrité physique et biologique du lac Michigan. Schottler et Eisenreich (1994) ont estimé la quantité totale d'atrazine et de DEA dans les eaux du lac Michigan à 275 tonnes métriques en 1993, et la concentration d'atrazine et de DEA dans les eaux du lac pour la même année à 37 ng/L et 24 ng/L respectivement. La version préliminaire du plan d'aménagement panlacustre préconise que des polluants nouveaux de ce type soient considérés comme étant prioritaires du point de vue de la collecte de données et des activités de recherche. Malgré sa demi-vie plus courte dans le lac Érié, étant donné les taux d'épandage plus élevés et le manque relatif de cours d'eau pouvant servir de tampons dans le bassin du lac Érié, l'atrazine devrait être considérée comme un polluant d'intérêt prioritaire dans le plan d'aménagement panlacustre du lac Érié.

En 1993, la quantité d'atrazine utilisée pour l'épandage dans l'ensemble du bassin était de 2 770 000 kilogrammes. Cet herbicide a été documenté comme étant un produit chimique perturbant le système endocrinien (Colborn, vom Saal et Soto, 1993), et même si l'on n'a pas encore établi de chiffres précis pour le lac Érié en 1993, on s'attend que l'atrazine soit le pesticide dont l'épandage au poids est le plus élevé parmi tous les pesticides utilisés à des fins agricoles. La capacité de cet herbicide de perturber le système endocrinien est plus préoccupante dans la partie occidentale du bassin du lac Érié, qui contient déjà des concentrations élevées d'autres produits connus comme des agents perturbateurs du système endocrinien, les biphényles polychlorés.



Modifié d'après :
Schottler et Eiseinreich, 1994
Lemieux, Quémérais et Lum, 1995

Figure 6 :
L'atrazine dans les Grands Lacs

1.3.2 Activités du Conseil par rapport aux priorités relatives au lac Érié pour 1993-1995

Parmi les réalisations du Conseil de la qualité de l'eau des Grands Lacs concernant les priorités relatives au lac Érié, le Conseil a parrainé deux ateliers sur les pesticides et les questions connexes, qui se sont tenus à Toledo, Ohio, le 30 août 1994 et les 27 et 28 mars 1995. Des agriculteurs, des représentants d'organismes gouvernementaux des secteurs agricole et environnemental, des professeurs d'universités ainsi que des représentants de groupes d'intérêt public et des producteurs de pesticides y assistaient. À partir de l'orientation initiale de la Commission axée sur les pratiques aratoires antiérosives et les épandages de pesticides, les participants aux ateliers ont examiné des méthodologies générales visant des réductions importantes des pesticides dans le lac Érié et la rivière Maumee.

L'initiative Production alimentaire 2002, pilotée par l'Ontario, faisait partie des programmes examinés. Le Ministère vise une réduction de 50 % de l'épandage de pesticides d'ici 2002. Les objectifs du programme sont les suivants : i) préserver les espèces bénéfiques et favoriser leur croissance; ii) examiner le seuil économique applicable à l'utilisation de solutions autres que l'épandage de pesticides; iii) analyser l'approche préventive en matière de lutte contre les animaux nuisibles par rapport à l'approche corrective, qui fait principalement appel à l'épandage de pesticides; iv) réduire l'incidence des pesticides sur l'environnement; v) évaluer les enjeux sur les plans social et sanitaire tout en visant la durabilité. Compte tenu de plusieurs facteurs, notamment une nouvelle résistance aux pesticides chez les principales espèces, le **Programme de lutte intégrée contre les ennemis des cultures** (PLIEC) a été proposé comme pierre angulaire de cette initiative.

La définition de l'expression «lutte intégrée contre les ennemis des cultures», tirée du rapport sur cette question présenté en juin 1990 par le Conseil consultatif scientifique, s'énonce comme suit : l'optimisation de la lutte contre les ennemis des cultures selon une approche économique et écologique, grâce à l'utilisation coordonnée de multiples techniques visant à garantir une production végétale stable et à maintenir le niveau de dommages imputables aux ennemis des cultures sous le seuil tolérable du point de vue économique tout en réduisant au minimum les risques pour les humains, les animaux, les plantes et l'environnement (Dover, 1985).

Le programme PLIEC comporte trois volets. Le premier volet, l'**éducation**, comprend la formation des opérateurs antiparasitaires grâce à un programme d'accréditation obligatoire (on offre également un cours aux fournisseurs de produits). Un autre volet est axé sur la **recherche**, principalement appuyée par l'Institut de recherche agricole de l'Ontario (95 projets). Parmi les critères de financement des projets, mentionnons l'examen de solutions autres que chimiques, l'évaluation de l'efficacité des technologies d'épandage et l'approche axée sur la lutte intégrée contre les ennemis des cultures.

Enfin, le volet **exécution pratique** a été assigné à 15 conseillers en gestion responsables des cultures de fruits et de légumes en plein champ ou dans des serres. Trente-deux denrées sont couvertes par un programme de lutte intégrée contre les ennemis des cultures et l'on a établi une ligne directe réservée à la lutte contre les ennemis des plantes. L'un des éléments importants à cet égard est l'élaboration par des producteurs individuels de plans agro-environnementaux, l'objectif étant de 5 000 plans mis au point pour la fin de 1994. Parmi les autres activités entreprises à ce chapitre, mentionnons la collecte, l'élimination et le recyclage de pesticides, un programme consultatif de gestion de la végétation, une Clinique de diagnostic et de consultation phytosanitaires et des initiatives de lutte intégrée contre les ennemis des cultures dans les fermes à gazon.

D'après l'inventaire des pesticides le plus récent mené en Ontario, depuis 1987, l'épandage de l'ingrédient actif des pesticides a diminué de 17 %; une réduction de 40 % de l'épandage sur les cultures de maïs semble possible et une réduction de cinquante pour cent (50 %) a été réalisée dans le cas des récoltes de pommes de terre parallèlement à une diminution de 80 % du recours à l'épandage pour la floriculture en serre.

Certaines préoccupations se font encore sentir, notamment les suivantes : i) orientation trop limitée, en ce sens que les programmes sont encore axés sur des pesticides en particulier; ii) manque de méthodologie ainsi que de normes et de seuils uniformisés; iii) petit nombre de pesticides mis au point suivant le concept de la lutte intégrée contre les ennemis des cultures; iv) nécessité d'améliorer la gestion de l'introduction de cultivars nouveaux dans un complexe; v) prépondérance accordée à l'aspect extérieur des aliments; vi) nécessité d'intensifier les activités d'éducation et de mise en application du programme; vii) érosion des efforts de recherche due à un manque d'engagement à long terme. Jusqu'en 1992, le Ministère a assumé 85 % du coût de ces programmes; maintenant, ce financement est diminué de moitié et l'on n'est assuré d'aucun fonds supplémentaires pour le reste du programme.

Des représentants de fabricants de pesticides ont examiné leur contribution à des démonstrations de cultures sans labour, à des conférences sur la gestion des résidus de cultures, à la préparation de matériel éducatif et à la promotion de pratiques axées sur la conservation, notamment la création de zones tampons dans les champs adjacents à des cours d'eaux, des rivières et des lacs et la mise au point d'un «code de bonne pratique» pour l'utilisation des pesticides. La formation relative à l'épandage a été abordée par la mise au point de «codes relatifs à l'épandage». On appuie également les programmes «de soutien relatifs aux puits» en vue de l'inventaire des puits de ferme contaminés et de leur décontamination, de même que les consultations sur les herbicides, les efforts en génie génétique et l'application de la biotechnologie à la mise au point de meilleures récoltes.

À l'atelier, on a présenté d'autres preuves de réductions récentes de la charge d'herbicides dans l'environnement, découlant en grande partie de l'efficacité accrue de l'épandage et de meilleurs résultats. Dans l'Illinois, bien que la superficie traitée soit demeurée à peu près la même de 1985 à 1990, la quantité d'**ingrédient actif** contenue dans les pesticides a diminué. Le mode d'emploi actuel de l'herbicide commun connu sous le nom de «Roundup» préconise l'utilisation de la moitié de la quantité autrefois recommandée pour l'épandage.

On a également passé en revue l'ampleur des pratiques axées sur la culture sans labour pour la lutte contre la pollution des sédiments dans les ruisseaux et les rivières dans une partie importante du bassin du lac Érié. C'est dans les sédiments que se trouvent environ 50 % de toutes les charges primaires de polluants dans les rivières. La proportion de l'épandage effectué sur des cultures sans labour est estimée au tiers de la superficie cultivée. Conformément au *Farm Bill* promulgué par les États-Unis en 1985, l'érosion du sol a été réduite dans les mêmes proportions.

Certains sont d'avis que les cultures sans labour nécessitent davantage de pesticides, mais il est possible que cet épandage accru ne soit pas dommageable pour l'ensemble de l'environnement, compte tenu d'une meilleure rétention des pesticides dans le sol. Après le premier épandage suivant l'introduction de cultures sans labour, on observe généralement une réduction des quantités de pesticides. Ainsi, les rendements des récoltes de maïs se sont stabilisés ou ont diminué légèrement après l'épandage sur des cultures sans labour, et l'utilisation de produits chimiques a diminué considérablement. On a eu recours à la lutte intégrée contre les ennemis des plantes, et la plus grande partie de l'épandage de pesticides se fait maintenant après l'apparition des plantes à la surface et en quantités moindres.

Certaines technologies nouvelles, comme la biogénétique, le positionnement global et les techniques de soins du sol, qui permettent de déterminer l'emplacement précis du champ et les besoins en engrais, sont considérées comme étant des innovations positives.

Les chercheurs universitaires ont étudié certains déséquilibres hormonaux, des changements dans la masse cellulaire, la reproduction et la croissance ainsi que dans les fonctions des systèmes nerveux et immunitaire chez certaines espèces de mammifères en réaction à des facteurs d'agression, notamment les pesticides. On a procédé à l'essai des mélanges d'aldicarbe, d'atrazine et de nitrates à des concentrations correspondant à celles que l'on trouve dans les eaux souterraines dans une partie du bassin afin d'évaluer l'effet perturbateur de ces substances sur l'équilibre hormonal et les systèmes endocrinien et immunitaire. Les facteurs comportementaux d'agression ont également été examinés et des interactions entre deux ou trois facteurs ont donné lieu à des effets liés à ces produits chimiques.

Une étude menée en 1986 sur le pesticide 2,4-D indique que les effets ne se font sentir qu'après un an. En milieu naturel, les animaux sont soumis à un stress beaucoup plus important; certains ont proposé la tenue d'expériences à l'extérieur, étant donné que dans ces conditions, des effets toxiques plus graves pourraient être mis en évidence. Les essais devaient être réexaminés de façon à tenir compte d'expositions multiples, d'un nombre accru de points de fin en plus du cancer, ainsi que de l'utilisation de mélanges de produits chimiques et de facteurs d'agression supplémentaires (maladie, alimentation et climat).

Chez les espèces examinées, on a noté une certaine diminution de l'hormone de croissance. L'incidence sur le système immunitaire continue d'être un sujet de préoccupation qui devrait être abordé au moyen d'une approche expérimentale utilisant des mélanges qui correspondent aux concentrations relevées dans les eaux souterraines. En outre, bien que l'approche axée sur la culture sans labour soit efficace pour la réduction du ruissellement vers les plans d'eaux de surface, le degré de migration vers les eaux souterraines et l'incidence sur ces dernières ne sont pas encore clairement établis.

Un représentant du **Fonds mondial pour la nature** (FMN) a souligné que, d'après cet organisme, il serait approprié d'entreprendre une initiative importante en vue de réduire les risques liés aux pesticides dans le bassin des Grands Lacs, en tenant compte des risques pour la santé humaine et des facteurs économiques. La perturbation ou l'adaptation du système endocrinien et la mise en péril du système immunitaire chez des espèces sélectionnées sont l'objet de préoccupations particulières.

L'inventaire de l'épandage de pesticides actuellement réalisé par le FMN tient compte de l'épandage de pesticides aux fins de l'entreposage de la nourriture ou sur les terrains de golf et les

pelouses, en plus de l'épandage traditionnel à des fins agricoles. Les modèles et la quantité de déplacement des pesticides vers l'extérieur des terres sont bien quantifiés. On a examiné diverses catégories de pesticides, dont certains sont persistants et biocumulatifs, en insistant sur ceux qui perturbent le système endocrinien, constituent une menace pour les oiseaux et ont d'autres effets indésirables éventuels.

Parmi les autres préoccupations, mentionnons les suivantes : i) le risque de cancer chez les fermiers et les travailleurs; ii) les espèces en danger de disparition ou menacées; iii) l'incidence de faibles doses ou d'expositions uniques à des pesticides sur la reproduction chez diverses espèces.

Parmi les questions importantes particulières au bassin de la rivière Maumee, qui fait partie du bassin du lac Érié, on retrouve les suivantes : la volonté de réduire l'utilisation de pesticides; les questions relatives à la gestion des risques; la nécessité de dresser un inventaire de l'importance des cultures sans labour et d'évaluer leur incidence au moyen d'une analyse coûts-avantages; l'enregistrement des agents biologiques; les objectifs environnementaux au chapitre de l'aménagement de la faune et de la protection des animaux; l'importance d'accroître les interactions locales entre les fermiers; l'exploration des éléments de base permettant de définir et de réaliser un «écosystème sain»; l'obligation de rendre compte des programmes volontaires; un soutien accru au transfert de technologie; la nécessité de toujours prendre en compte les facteurs économiques.

Il semble y avoir un consensus général selon lequel les principaux éléments de toute approche future visant à réduire l'utilisation des pesticides et les rejets dans l'environnement qui en découlent devraient comporter entre autres la culture sans labour, la gestion intégrée des ennemis des cultures et la planification complète de l'exploitation agricole. Il a également été proposé que les herbicides solubles dans l'eau liés aux cultures de maïs et de soya soient soumis à un nouvel examen; on préconise en outre la création de partenariats entre les producteurs, les fabricants de produits chimiques, les distributeurs et les consommateurs, ainsi qu'avec la communauté universitaire.

Il va de soi que l'on doit mener d'autres recherches en vue d'établir des systèmes de base pour l'établissement de rapports. Les autres solutions rentables de remplacement des pesticides, notamment la lutte intégrée chimique et biologique, l'utilisation d'un système de positionnement global pour un épandage plus précis des pesticides, de même que la technologie fondée sur un taux d'épandage variable ont toutes fait l'objet de discussions.

En outre, il faudrait promouvoir l'éducation et le transfert de technologie par l'accès du public à l'information, les réseaux de fermiers axés sur l'éducation et le recours à des chercheurs professionnels travaillant sur place dans les exploitations. Le détaillant de produits agricoles pourrait jouer un rôle utile dans les programmes d'éducation et de suivi en matière de lutte intégrée contre les ennemis des cultures. On préconise également la coordination de la collecte de données à l'aide d'une méthodologie commune et la transition vers une planification intégrée de l'exploitation agricole.

On a proposé en outre des changements de politiques prévoyant des programmes axés sur des marchés mixtes de produits de base (par exemple, la diversification des cultures vers la production de foin) et une extension de la période de brevet pour les types de pesticides et d'herbicides qui sont les moins dommageables. La création d'un marché pour les aliments produits à l'aide des solutions de remplacement disponibles pourrait accroître le recours à des solutions novatrices au chapitre de l'équipement, de la production et des services.

On a proposé que tout objectif établi en vue de la réduction des pesticides soit réaliste (peut-être fondé sur les normes relatives à la qualité de l'eau potable); des stimulants économiques et un soutien technique devraient être compris dans la promotion de ce genre de réductions.

1.3.3 Conclusions et recommandations formulées au cours de l'atelier

Il faut intensifier la recherche sur les taux d'épandage des pesticides et, dans certains cas, sur les effets subtils que pourraient avoir ces produits sur le système endocrinien. En matière de réduction, il convient d'examiner l'établissement d'objectifs appropriés pour la protection de la santé des humains, de la faune et de l'écosystème afin de les intégrer aux Plans d'action correctrice (PAC) et aux Plans d'aménagement panlacustre, en particulier à ceux qui s'appliquent au lac Érié.

La mise au point et l'analyse d'une base de données concernant les cultures sans labour et l'épandage de pesticides devrait se poursuivre à l'échelle binationale et l'on devrait examiner l'application du positionnement global, de la télédétection, de la biotechnologie et d'autres capacités nouvelles afin de mieux définir les enjeux à ce chapitre.

Il faudrait appuyer et promouvoir l'établissement de communications efficaces entre les fermiers, y compris les organismes gouvernementaux, les fournisseurs agricoles, les fabricants et la communauté universitaire.

1.4 LES EAUX SOUTERRAINES DANS LE BASSIN DES GRANDS LACS

L'annexe 16 de l'*Accord relatif à la qualité de l'eau dans les Grands Lacs*, tel que modifié par le Protocole signé le 18 novembre 1987, stipule que les gouvernements canadien et américain doivent localiser les sources d'eaux souterraines contaminées qui se déversent dans les Grands Lacs, les cartographier et les contrôler. Le Conseil de la qualité de l'eau des Grands Lacs a terminé une étude documentaire visant à évaluer les connaissances scientifiques concernant la contribution des eaux souterraines à la qualité de l'eau dans le lac Érié. Le réseau de drainage des secteurs cultivés a été pris en compte dans le contexte où s'inscrivait cette revue, étant donné que les conduites du réseau sont considérées comme étant des voies permettant aux eaux souterraines d'atteindre les plans d'eaux de surface.

La contribution qualitative et quantitative des eaux souterraines au lac Érié est mal définie dans la littérature scientifique. Les lacunes actuelles en matière de données comprennent la cartographie du potentiel hydraulique dans le fond du lac Érié, l'estimation du débit des eaux souterraines sur le littoral et au large, la détermination de l'étendue et de l'importance des discontinuités géologiques de la subsurface (notamment les failles) dans le bassin du lac Érié et l'évaluation quantitative de la proportion de la charge en produits chimiques qui est imputable aux eaux souterraines.

Du point de vue topographique, le lac Érié se divise en trois régions distinctes. À l'ouest de l'île Pelée se trouve un bassin peu profond dont la profondeur moyenne est de 7,3 mètres (24 pieds). Le centre est formé d'une vaste région à fond plat, d'une profondeur moyenne de 18,3 m (60 pieds), qui s'étend de l'île Pelée jusqu'à un haut-fond de sable et de gravier traversant le lac à partir de Long Point (Ontario) jusqu'au comté d'Érié, Pennsylvanie. Le bassin oriental, qui se situe entre Long Point et la rivière Niagara, est la partie la plus profonde du lac, soit 24,5 m (80 pieds) en moyenne. La composition du fond est très variable, allant du limon et des débris organiques au sable, au gravier et aux affleurements de la roche en place. On y observe également une couche de till compacté qui semble varier selon les emplacements.

Sur le plan géologique, la roche de fond du bassin du lac Érié est constituée principalement de roches sédimentaires du Dévonien et du Silurien, soit des roches calcaires, des dolomies et des argiles litées qui présentent en général de nombreuses fractures. Mentionnons à titre d'exemple une structure régionale importante, la faille de Bowling Green, qui traverse en direction nord-sud la roche en place carbonatée du nord de l'Ohio.

Dans le bassin du lac Érié, la roche en place est recouverte de till, de sédiments fluvio-glaciaires et lacustres, de dépôts de crêtes de plage, et de formes de relief glaciaires comme les moraines, les drumlins et les kames. Le till et les dépôts lacustres sont riches en argile et présentent une conductivité hydraulique, ou des propriétés de conduction de l'eau, qui sont variables et changent en fonction de la profondeur et de la largeur des fractures. Inversement, les sédiments fluviaux, les crêtes de plage, et certaines moraines sont composées de sable et de gravier très perméables, qui sont à l'origine d'une variabilité considérable dans le profil du lac Érié en ce qui a trait à la conductivité hydraulique.

On a utilisé diverses méthodes pour obtenir des données sur le potentiel hydraulique du fond des Grands Lacs. Une approche particulièrement prometteuse consiste à prendre des mesures de la conductivité électrique des sédiments, que l'on peut ensuite relier à la capacité de l'eau de s'infiltrer à travers ces zones. En plus d'être relativement peu coûteuse et efficace, il est possible que cette méthode s'avère plus précise que les pratiques classiques de carottage.

La variabilité du potentiel hydraulique du sol et des sédiments influe directement sur les modèles et la vitesse de l'écoulement des eaux souterraines dans le bassin du lac Érié. L'augmentation du débit de base des tributaires, imputable à la grande porosité des sédiments, est évidente dans le bassin de drainage du ruisseau Big (Ontario) où environ 43 % du débit annuel moyen et 95 % du débit estival correspondent au débit des eaux souterraines.

À l'exception de la rivière Détroit, l'écoulement direct des tributaires vers le lac Érié est d'environ $2{,}2 \times 10^{10}$ m³ ($7{,}8 \times 10^{11}$ pi³) par année (Kurtz, 1990). Une proportion de 20 % à 60 % de ce débit correspond au débit de base des eaux souterraines. Le débit direct des eaux souterraines vers la rivière St. Clair, le lac Sainte-Claire et la rivière Détroit est estimé à environ $7{,}2 \times 10^{7}$ m³ ($2{,}5 \times 10^{9}$ pi³) par année. Il a été impossible d'évaluer le débit direct des eaux souterraines vers le lac Érié à cause du manque de données adéquates et suffisantes. Une estimation de $3{,}6 \times 10^{6}$ m³ ($1{,}3 \times 10^{8}$ pi³) par année a été tirée de la littérature, bien que le modèle utilisé pour obtenir ce chiffre ne s'applique qu'à l'écoulement des eaux souterraines profondes à travers les fractures de la roche en place (à l'exclusion de l'écoulement dans les sédiments riverains) et qu'il ne tienne pas compte de toutes les discontinuités de la subsurface. Une recherche menée dans le lac Michigan indique toutefois que le débit des eaux souterraines dans les sédiments riverains dépasse nettement celui des eaux souterraines dans les sédiments au large.

À l'échelle locale, des aquifères perchés se forment dans les dépôts de sable et de gravier qui recouvrent un till moins perméable du même type que celui de Perry dans l'Ohio. Ces aquifères peu profonds sont très vulnérables aux sources de contamination d'origine anthropique, comme la pollution par les nitrates et les chlorures.

Parmi les polluants naturels des eaux souterraines dans le bassin du lac Érié, on trouve des métaux, des hydrocarbures, (BTEX

ou benzène, toluène, éthylbenzène et xylènes provenant du suintement de pétrole) et des chlorures. À ces sources naturelles s'ajoutent des apports dus à l'activité humaine, la somme de ces deux types d'apport correspondant à la charge chimique totale de ces substances dans le lac Érié. Dans le bassin de la rivière Maumee, les eaux souterraines contribuent pour 75 % à 95 % des niveaux de pollution naturelle de divers métaux lourds, dont le chrome, le cuivre, le nickel, le plomb et le zinc.

Les polluants d'origine agricole, en particulier les herbicides et les nitrates, sont des polluants communs dans les eaux souterraines partout dans la région agricole du bassin du lac Érié. Les études relatives aux déplacements et au devenir de l'herbicide atrazine indiquent qu'entre 1,0 % et 1,5 % de la quantité totale appliquée sur une terre agricole est déversée dans les eaux de surface par le réseau de drainage. Une étude menée dans le sud de l'Ontario a indiqué qu'environ 50 kg de nitrates par hectare par année (45 livres d'azote par acre par année) se sont infiltrés dans les eaux souterraines, environ 10 à 20 kg d'azote par hectare par année (9 à 18 livres d'azote par acre par année) se déversant dans le bassin des cours d'eau de la région par l'écoulement des eaux souterraines. On estime que le débit de base a contribué pour 25 % à 50 % de la charge totale de nitrates dans le débit du cours d'eau dans une section non englacée de la partie orientale du centre de l'Ohio.

L'injection de déchets industriels en puits profond continue à se faire dans les États du bassin du lac Érié, y compris l'Ohio et le Michigan.

1.4.1 Conclusions et recommandations

Les connaissances scientifiques concernant l'apport des eaux souterraines dans la composition des eaux du lac Érié sont incomplètes et non intégrées. Toutefois, il semble que ces eaux jouent un rôle important et contribuent peut-être davantage que le ruissellement des eaux de surface au drainage des eaux vers le lac Érié et au transport d'azote, de pesticides, de métaux lourds et d'autres contaminants vers le lac. Les estimations relatives au débit de l'apport des eaux souterraines aux tributaires du lac Érié sont de l'ordre de 20 % à 60 % du débit total. Dans les régions mal drainées, à relief plat, par exemple, les grandes plaines argileuses du sud-ouest de l'Ontario et de l'ouest de l'Ohio, le débit de base, combiné aux effluents du réseau de drainage agricole, compte probablement pour une partie importante du débit des tributaires. Il faut mener des recherches pour évaluer le débit de base de chacun des bassins versants formant le bassin du lac Érié, et pour déterminer les répercussions des activités anthropiques de prélèvements d'eaux souterraines et des pratiques de rétention et de dérivation des eaux de surface sur le maintien du débit de base.

Une variation hydraulique considérable existe entre la roche en place et les sédiments dans tout le bassin du lac Érié. La roche en place, fracturée et formée de roche calcaire et de dolomie, qui est commune dans une grande partie du bassin, peut transporter de grandes quantités d'eau. Les vallées enfouies, les chenaux de dissolution et d'autres macropores ajoutent encore au volume des eaux qui s'écoulent. Les failles naturelles et les milliers

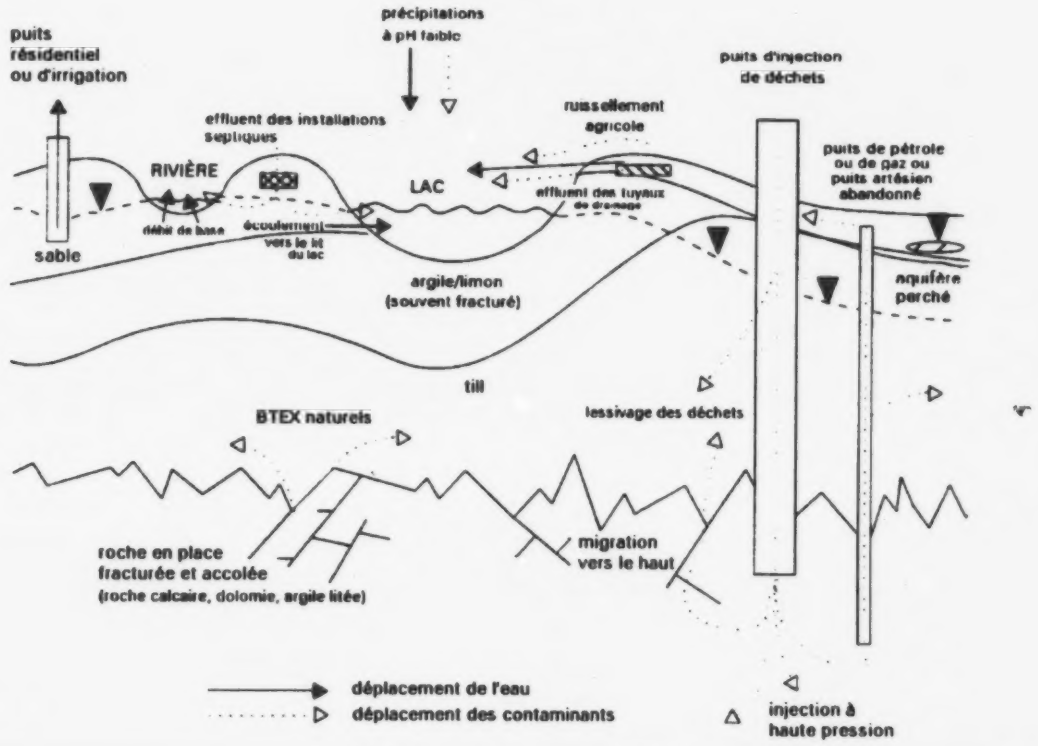


Figure 7 :
Schéma illustrant certains facteurs influant sur la qualité des eaux souterraines dans le bassin du lac Érié

d'anciens puits de pétrole et de gaz et de puits artésiens ajoutent encore à la complexité du réseau d'écoulement de l'eau dans la subsurface du bassin du lac Érié. Les systèmes septiques des logements permanents et saisonniers construits sur les rives du lac Érié et de ses tributaires sont souvent mal entretenus et représentent une source importante de contamination des eaux souterraines et de surface (figure 7). Des preuves récentes laissent penser que les sédiments de till argileux communs dans toute la partie occidentale du bassin du lac Érié sont plus conducteurs que prévu sur le plan hydraulique, à cause de la présence de nombreuses fractures.

Jusqu'à présent, on n'a enregistré que peu de progrès en vue de se conformer à l'annexe 16 de l'*Accord relatif à la qualité de l'eau dans les Grands Lacs*. En raison du manque de recherches applicables, la contribution des eaux souterraines à la qualité de l'eau du lac Érié ne peut pas être évaluée adéquatement. Il existe de nombreuses possibilités de recherche qui permettraient de combler les lacunes en matière de données. Mentionnons entre autres les suivantes :

La compilation des recherches existantes sur la structure géologique, hydrologique et hydrogéologique du bassin du lac Érié. Ces renseignements se trouvent dispersés dans plusieurs établissements universitaires et organismes gouvernementaux du bassin.

Des évaluations pratiques du potentiel hydraulique du fond du lac Érié. Il est particulièrement urgent de définir les discontinuités de la subsurface qui permettent l'écoulement rapide des eaux souterraines. La conduite d'études du champ électrique dans le sol pourrait s'avérer une méthode fiable et rentable pour l'acquisition de ces renseignements.

La cartographie des systèmes de failles dans le bassin du lac Érié et de leur incidence sur le débit des eaux souterraines et le transport des contaminants, en particulier à l'intérieur et aux environs des secteurs préoccupants.

La détermination de la composition chimique des eaux souterraines qui se jettent dans le lac Érié et dans ses tributaires.

Il est important de noter que la restauration des aquifères contaminés s'est révélée une tâche extrêmement difficile, si l'on prend en considération l'expérience acquise sur les lieux couverts par le «Superfund» américain. Conformément à l'annexe 16 de l'*Accord relatif à la qualité de l'eau dans les Grands Lacs*, les Parties ont accepté de «contrôler les sources de contamination des eaux souterraines et les eaux contaminées elles-mêmes» dans le bassin des Grands Lacs. La mise en oeuvre de projets visant la protection des eaux souterraines, par exemple, des programmes de protection en tête de puits, représente une haute priorité dans tout le bassin des Grands Lacs.

1.4.2 Recommandation du Conseil de la qualité des eaux des Grands Lacs

La Commission devrait préconiser une approche préventive pour assurer la protection des ressources en eaux souterraines et encourager les Parties à contribuer activement à la mise en oeuvre de l'annexe 16 de l'Accord.

1.5 ORIENTATIONS FUTURES

Dans ses commentaires à la Commission relativement aux priorités pour 1995-1997 et les années ultérieures, le Conseil propose à celle-ci une orientation axée sur l'incidence des substances toxiques persistantes sur la santé humaine et sur la salubrité des écosystèmes, conjointement avec le Conseil consultatif scientifique. De plus, le Conseil préconise un examen de la liste des onze substances toxiques persistantes prioritaires établie par le Conseil vers le milieu des années 80, et un examen plus approfondi des diverses voies d'entrée de ces substances dans les lacs, à l'échelle continentale et mondiale.

À l'appui de l'évolution continue des **Plans d'action correctrice** (PAC) et des **Plans d'aménagement panlacustre**, un examen de l'application des technologies actuelles, particulièrement *in situ*, aux fins de l'assainissement des sédiments contaminés par des substances toxiques persistantes semble approprié.

En outre, le Conseil manifeste de l'intérêt pour l'examen coordonné de la situation et de la pertinence des programmes de lutte contre l'accès du bassin à certaines espèces exotiques, comme la moule zébrée.

Même si le Conseil ne peut définir clairement son propre rôle éventuel, l'incidence du soutien révisé des programmes et de nouvelles technologies puissantes de l'information, comme Internet, laisse néanmoins supposer qu'un examen de l'état des activités binationales relatives à la collecte, à la gestion et à la diffusion des données serait approprié. La contribution de ces efforts à l'éducation efficace du public devrait aussi être prise en compte.

En ce qui a trait à ses activités dans le cadre du cycle biennal de 1993 à 1995, le Conseil est d'avis qu'un nouvel examen des efforts de prévention de la pollution dans le bassin serait pertinent. En outre, il reconnaît les efforts des Parties dans l'organisation de la Conférence sur l'état de l'écosystème des Grands Lacs (CÉÉGL) à Dearborn, Michigan, en octobre 1994. Un compte rendu de cette conférence doit être publié vers le milieu de l'année 1995; le Conseil estime que ce document doit être transmis officiellement à la Commission dans le cadre des activités de contrôle des Parties en vertu de l'*Accord relatif à la qualité de l'eau dans les Grands Lacs*. Le Conseil est prêt à aider la Commission de toute manière appropriée pour l'examen et l'analyse de ce document et du processus qui s'ensuit.

1.6 BIBLIOGRAPHIE

Albert, R.J. 1994a. Survey Shows Worldwide Growth in Mills Using TCF Processes. Pulp and Paper 6:93-103.

Albert, R.J. 1994b. Effluent-Free Pulp Mill Possible with Existing Fiberline Equipment. Pulp and Paper 7:83-89.

Allen, David. March, 1995. Presentation on "Clean Technology Priorities" at Pollution Prevention Workshop sponsored by the Water Quality and Science Advisory Boards, International Joint Commission. Ann Arbor, Michigan.

Allen, David. September, 1993. Critical Review Discussion Papers. *Journal of the Air and Waste Management Association.*

Automotive Pollution Prevention Project: Progress Report. February, 1994. American Automobile Manufacturers Association.

AWMA Summary. May, 1992. Industrial Pollution Prevention: A Critical Review. *Journal of the Air and Waste Management Association.* Volume 42, No. 5.

Becker, W.M. and D.W. Deamer. 1991. *The World of the Cell.* Second edition. Benjamin/ Cummings Publishing Company, Red Wood City, California.

Bettis, John. 1991. Bleach Plant Modifications, Controls Help Industry Limit Dioxin Formation. In: *Bleaching Technology.* eds: Ken L. Patrick. Miller Freeman Inc., San Francisco, California. pp. 19-25.

Bonsor, N., N. McCubbin and J.B. Sprague. 1988. *Kraft Mill Effluent In Ontario.* Report of the Expert Committee on Kraft Mill Toxicity to the Pulp and Paper Sector of MISA. Ontario Ministry of the Environment, Toronto, Ontario. 160 pp.

Brooks, T.R., L.L. Edwards, J.C. Nepote and M.R. Caldwell. 1994. Bleach Plant Closeup and Conversion to TCF: a Case Study Using Mill Data and Computer Simulation. Tappi J. 77(11):83-92.

Bulkley, Jonathan. March, 1995. Presentation on "Education and Research Initiatives" at Pollution Prevention Workshop sponsored by the Water Quality and Science Advisory Boards, International Joint Commission. Ann Arbor, Michigan.

Business and the Environment. April 1995. Vol. VI, No. 4, Cutter Information Corp., Arlington, Massachusetts. p. 13.

Cairns, J., Jr. 1986. The Myth of the Most Sensitive Species. BioScience 36(10):670-672.

Canovas, R.V. and G. Maples. 1995. Champion BFR Process Opens Door to Kraft Bleach Plant Closure. Pulp and Paper 3:83-86.

ChemInfo Services Inc. 1994. *Canadian Chlorine Supply and Applications.* Prepared for Environment Canada, Chemical Industries Directorate, Hull, Quebec. pp. 2-33-2-42.

Christensen, Hans Henrik. March, 1995. Presentation on "The Danish Model" at Pollution Prevention Workshop sponsored by the Water Quality and Science Advisory Boards, International Joint Commission. Ann Arbor, Michigan.

Cohen, M., B. Commoner, H. Eisl, P. Bartlett, A. Dickar, C. Hill, J. Quigley and J. Rosenthal. 1995. *Qualitative Estimation of the Entry of Dioxins, Furans and Hexachlorobenzene into the Great Lakes From Airborne and Waterborne Sources.* Center for the Biology of Natural Systems, Queens College, CUNY, Flushing, New York. 105 pp.

Colborn T, F.S. vom Saal and A.M. Soto. 1993. Developmental Effects of Endocrine-Disrupting Chemicals in Wildlife and Humans. Environ Health Perspect 101:378-384.

Dence, C. and G. Annergren. 1979. Chlorination in the Bleaching of Pulp. Tappi Press p. 43. In: J.W. Graves, T.W. Joyce and H. Jameel. 1993. *Effect of Chlorine Dioxide Substitution, Oxygen Delignification, and Biological Treatment on Bleach-Plant Effluent.* Tappi J. 76(7):153-158.

Dover M.J. 1985. *A Better Mousetrap: Improving Pest Management for Agriculture.* World Resources Institute, Washington DC.

Eagan, Patrick, John Koning Jr. and William Hoffman III. 1994. Developing an Environmental Education Program Case Study: Motorola. Dept. of Engineering Professional Development, College of Engineering, University of Wisconsin, Madison, Wisconsin.

Environnement Canada, Ministère des Pêches et des Océans. 1991. *Exigences en matière de surveillance des incidences environnementales sur le milieu aquatique : annexe 1.* Environnement Canada, Ottawa, Ontario.

Environnement Canada, Santé et Bien-être Canada. 1991. Loi canadienne sur la protection de l'environnement : liste des substances d'intérêt prioritaire - rapports d'évaluation, n° 2 : Effluents des usines de pâte blanchie. Environnement Canada, Ottawa, Ontario. 68 p.

Federal Reserve Bank of Chicago and the Great Lakes Commission. October, 1985. *The Great Lakes Economy, A Resource and Industry Profile of the Great Lakes States.* Ann Arbor, Michigan. 163 pp.

Focus: Exceeding Partner Expectations Newsletter. National Center for Manufacturing Sciences. Ann Arbor, Michigan. April 1995.

Fosberg, T. and B. Sweet. 1994. Using Evaporators to Achieve Zero Effluent At a BCTMP Pulp Mill. Environmental Progress 13(3):163-166.

Frosch, Robert. March, 1995. Presentation on "Industrial Ecology: Minimizing the Impact of Industrial Waste" at Pollution Prevention Workshop sponsored by the Water Quality and Science Advisory Boards, International Joint Commission. Ann Arbor, Michigan.

Graedel, T.E. and B.R. Allenby. 1995. *Industrial Ecology.* Prentice Hall Publishers, Englewood Cliffs, New Jersey. 412 pp.

Graves, J.W., T.W. Joyce and H. Jameel. 1993. Effect of Chlorine Dioxide Substitution, Oxygen Delignification, and Biological Treatment on Bleach-Plant Effluent. Tappi J. 76(7):153-158.

Conseil de la qualité de l'eau des Grands Lacs. 1989. Rapport de 1989 sur la qualité de l'eau des Grands Lacs. Windsor, Ontario.

Conseil de la qualité de l'eau des Grands Lacs. 1987. Rapport de 1987 sur la qualité de l'eau des Grands Lacs. Windsor, Ontario. 230 p.

Great Lakes Water Quality Board. 1981. 1981 Report on Great Lakes Water Quality. Windsor, Ontario. 74 pp.

Great Lakes Water Quality Board. 1977. *Appendix C: Annual Report of the Remedial Programs Subcommittee to the Implementation Committee, Great Lakes Water Quality Board.* Windsor, Ontario.

Holloran, M.F., R.F. Willes, M.J. Pamliere and D.G. Wilson. 1992. Estimating Effluent Toxicity from Molecular-Chlorine-Gas-Free Bleaching in Terms of Toxicity Equivalence. Water Poll. Res. J. Canada 27(3):539-559.

Hong, C., B. Bush and J. Xiao. 1992. Coplanar PCBs in Fish and Mussels from Marine and Estuarine Waters of New York State. Ecotoxicology and Environmental Safety 23:118-131.

Commission mixte internationale. 1993. Une stratégie pour l'élimination virtuelle des substances toxiques rémanentes. Volumes 1 et 2. Washington, D.C. et Ottawa, Ontario.

Commission mixte internationale. 1990. Cinquième rapport biennal dans le cadre de l'Accord de 1978 relatif à la qualité de l'eau dans les Grands Lacs présenté aux gouvernements des États-Unis et du Canada et provinces du bassin des Grands Lacs. Partie II. Washington, D.C. et Ottawa, Ontario. 72 p.

Jimenez, B.D., A. Oikari, S.M. Adams, D.E. Hinton and J.F. McCarthy. 1990. Hepatic Enzymes as Biomarkers: Interpreting the Effects of Environmental, Physiological and Toxicological Variables. In: *Biomarkers of Environmental Contamination.* eds. J.F. McCarthy and L.R. Shugart. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida. pp. 123-142.

Jordan, Michelle. March, 1995. Presentation on "Trends for Pollution Prevention" at Pollution Prevention Workshop sponsored by the Water Quality and Science Advisory Boards, International Joint Commission. Ann Arbor, Michigan.

Keoleian, Gregory A. and Dan Menerey. May, 1994. Sustainable Development by Design: Review of Life Cycle Design and Related Approaches. *Air and Waste.* pp. 645-668.

Kohler, C.W. 1994. Tighter Regulations Spur Design of Zero-Discharge Recycled Mills. Pulp and Paper 5:89-91.

Kringstad, K.P. and K. Lindstrom. 1984. Spent liquors from pulp bleaching. Envir. Sci. Technol. 18:236A-248A.

Lemieux C., B. Quémerais and K.R. Lum. 1995. Seasonal Patterns of Atrazine Loading for the St. Lawrence River and Its Tributaries. Water Research 29, 1491-1504.

Lora, J.H. and E.K. Pye. 1995. Solvent Pulping Opens Door to Viable Chlorine-Free, Effluent-Free Options. Pulp and Paper 2:109-110.

Madore, Odette. 1992. Pâtes et papiers : les répercussions sur l'industrie de la nouvelle réglementation fédérale en matière d'environnement. Bibliothèque du Parlement, Ottawa, Ontario. 19 p.

McCubbin, N. and J. Folke. 1995. Significance of AOX vs. Unchlorinated Organics. Pulp Paper Can 96(2):T63-68.

Meadows, D.G. 1995a. Södra Cell's Swedish Mills Geared for Production of "Zero" Chlorine Pulp. Tappi J. 78(1):47-50.

Meadows, D.G. 1995b. ECF Results Please Gruvön Mill. Tappi J. 78(1):51-53.

Munkittrick, K.R., G.J. Van Der Kraak, M.E. McMaster, C.B. Portt, M.R. Van Den Heuvel and M.R. Servos. 1994. Survey of Receiving-Water Environmental Impacts Associated With Discharges from Pulp Mills: 2. Gonad Size, Liver Size, Hepatic EROD activity and Plasma Sex Steroid Levels in White Sucker. Environ. Toxicol. Chem. 13(7): 1089-1101.

Munkittrick, K.R., G.J. Van Der Kraak, M.E. McMaster and C.B. Portt. 1992. Response of Hepatic MFO Activity and Plasma Sex Steriod to Secondary Treatment of Bleached Kraft Pulp Mill Effluent and Mill Shutdown. Env. Toxicol. Chem. 11: 1427-1439.

National Academy Press. 1989. Technology and Environment, ed. J.H. Ausubel and Hedy E. Sladovish. Washington, D.C.

Okey, A. 1990. Enzyme Induction in the cyticgrine P450 system. Pharmacol. Ther. 45:241-298.

Ontario Ministry of the Environment. 1988. *Toxicity of Pulp and Paper Effluent in Ontario.* Ontario Ministry of the Environment, Toronto, Ontario. 150 pp.

Patrick, K.L., J. Young, K. Ferguson and A. Harrison. 1994. Special Report: Closing the Loop: The Effluent-Free Pulp and Paper Mill. Pulp and Paper 68(3): S1-S24.

Pollution Probe. 1982. Profit for Pollution Prevention: A Project of Pollution Probe Foundation.

Pferdehirt, Wayne. March, 1995. Presentation on "Delivering Technological Assistance That Makes a Difference" at Pollution Prevention Workshop sponsored by the Water Quality and Science Advisory Boards, International Joint Commission. Ann Arbor, Michigan.

Ricketts, J.D. 1995. Role of Peracids Revisited for Delignification, Bleaching. Pulp and Paper 3:89-94.

Rosenberg, Nathan. March, 1995. Presentation on "Exploring the Black Box - Technology, Economics and History" at Pollution Prevention Workshop sponsored by the Water Quality and Science Advisory Boards, International Joint Commission. Ann Arbor, Michigan.

Rosenberg, Nathan. 1994. Exploring the Black Box. Cambridge University Press. Cambridge, Massachusetts. 274 pp.

Schottler S. and S. Eisenreich. 1994. Herbicides in the Great Lakes. Environ. Sci. Technol. 28:2228-2232.

Servos, M.R., J.H. Carey, M.L. Ferguson, G. Van Der Kraak, H. Ferguson, J. Parrott, K. Gorman and R. Cowling. 1992. Impact of Modernized Bleached Kraft Mill on White Sucker Populations in the Spanish River, Ontario. Water Poll. Res. J. Canada 27(3):423-437.

Shackford, Lewis D. 1991. Shifting Environmental Requirements Renew Interest in Ozone Bleaching. In: *Bleaching Technology*. eds: Ken L. Patrick. Miller Freeman Inc., San Francisco, California. pp. 92-94.

Shimizu, Ron. March, 1995. Presentation on "Great Lakes Pollution Prevention Initiative" at Pollution Prevention Workshop sponsored by the Water Quality and Science Advisory Boards, International Joint Commission. Ann Arbor, Michigan.

Sprague, J.B. and A.G. Colodey. 1989. *Toxicity to Aquatic Organisms of Organochlorine Substances in Kraft Mill Effluent.* Background Report for Industrial Programs Branch, Environment Canada, Ottawa, Ontario. 53. pp.

Strachan, Wm. J. and S.J. Eisenreich. 1990. In: *Long Range Transport of Pesticides.* D. Kurtz, Lewis Publishers, Chelsea, Michigan. pp. 291-303.

Strunk, William G. 1991. "Kraft Bleach Plants Increase Use of Hydrogen Peroxide as Benefits Mount. In: *Bleaching Technology*. eds: Ken L. Patrick. Miller Freeman Inc., San Francisco, California. pp. 75-79.

Swanson, S., R. Shelast, R. Schryer, P. Kloepper-Sames, T. Marchant, K. Kroeker, J. Bernstein and J.W. Owens. 1992. Fish Populations and Biomarker Response at a Canadian Bleached Kraft Mill Site. Tappi December:139-149.

Tappi Press. 1993. Kraft Pulping: A Compilation of Notes. Atlanta, Georgia. 181 pp.

Thorpe, Beverley. March, 1995. Presentation on "Reprise Day One and Reflection on Current European Initiatives" at Pollution Prevention Workshop sponsored by the Water Quality and Science Advisory Boards, International Joint Commission.

U.S. Congress, Office of Technology Assessment. October, 1992. Green Products by Design: Choices for a Cleaner Environment, OTA E-541, Washington, DC: U.S. Government Printing Office. 128 pp.

U.S. EPA. 1990. USEPA/Paper Industry Cooperative Dioxin Study: "The 104 Mill Study" Summary Report. Office of Water Regulations and Standards. Washington, D.C. pp. 22-26.

U.S. EPA. 1993. *Revised Lake Michigan Lakewide Management Plan for Toxic Pollutants-Draft.* Chicago, Illinois. 232 pp.

Vanderburg, Willem H. March, 1995. Presentation on "Preventive Engineering: The Social and Cultural Context" at Pollution Prevention Workshop sponsored by the Water Quality and Science Advisory Boards, International Joint Commission. Ann Arbor, Michigan.

Vanderburg, Willem H. July, 1995. Preventive Engineering: A Strategy for Dealing with the Negative Social and Environmental Implications of Technology. *Journal of Professional Issues in Engineering.*

Vanderburg, Willem H. and Namir Khan. October 1994. How Well is Engineering Education Incorporating Societal Issues? *Journal of Engineering Education.* pp. 357-361.

Verstey, Hajo. Novembre 1993. Analyse des dispositions actuelles et proposées de la Loi canadienne sur la protection de l'environnement par rapport à l'intégration possible des principes et des stratégies de prévention de la pollution. *A report to Environment Canada*, Ottawa, Canada. 112 p.

Williams, L.L., J.P. Giesy, N. DeGalan, D.A. Verbrugge, D.E. Tillitt and G.T. Ankley. 1992. Prediction of Concentrations of 2,3,7,8-Tetrachlorodibenzo-*p*-dioxin Equivalents from Total Concentrations of Polychlorinated Biphenyls in Fish Fillets. Envir. Sci. Technol. 26:1151-1159

Young, J. 1994. Chetwynd Pioneers Innovations in Zero-Effluent Pulp Production. Pulp and Paper 3:73-75.

Zosel, Thomas. March, 1995. Presentation on "Waste Reduction Priorities in Manufacturing" at Pollution Prevention Workshop sponsored by the Water Quality and Science Advisory Boards, International Joint Commission. Ann Arbor, Michigan.

1.7 MEMBRES DU CONSEIL DE LA QUALITÉ DE L'EAU DES GRANDS LACS

Membres canadiens

M. Denis Davis, (coprésident canadien)
Directeur général ministériel
Conservation et Protection
Environnement Canada
Place Vincent Massey
351, boulevard St-Joseph
Hull (Québec) K1A 0H3

M. John M. Cooley
Laboratoire des Grands Lacs pour les pêches et les sciences aquatiques
Pêches et Océans Canada, CCEI
B.P. 5050
867, chemin Lakeshore
Burlington (Ontario) L7R 4A6

M. D.P. Dodge
Division des Grands Lacs,
Ministère des Richesses naturelles de l'Ontario
B.P. 5000
10401, rue Dufferin
Maple (Ontario) L6A 1S9

M. Andrew P. Gilman
Chef, Programme des effets sur la santé
Santé Canada
Pièce 1108, Immeuble principal
Statistique Canada
Parc Tunney
Ottawa (Ontario) K1A 0K9

M. Simon Llewellyn, directeur
Direction de la conservation de l'environnement
Région de l'Ontario
Environnement Canada
4905, rue Dufferin
Downsview (Ontario) M3H 5T4

M^me^ Joyce McLean
Conseillère en politique
Ministère de l'Environnement et de l'Énergie de l'Ontario
135, avenue St. Clair ouest
12^e^ étage
Toronto (Ontario) M4V 1P5

M. Gerald A.V. Rees, directeur
Ministère de l'Environnement et de l'Énergie de l'Ontario
125, chemin Resources, tour ouest
Etobicoke (Ontario) M9P 3V6

M. Henri St-Martin
Ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec
Chef du Service des pesticides et des eaux souterraines
2360, chemin Sainte-Foy
2^e^ étage
Sainte-Foy (Québec) G1V 4H2

M. Hardy Wong
Directeur, Région centre-ouest
Bureau régional de Hamilton
Ministère de l'Environnement et de l'Énergie de l'Ontario
119, rue King ouest
12^e^ étage
B.P. 2112
Hamilton (Ontario) L8N 3Z9

Membres américains

Mr. Valdas V. Adamkus
(coprésident américain)
Regional Administrator
U.S. Environmental Protection Agency
Region V
77 W. Jackson St., R-19-J
Chicago, Illinois 60604

Mr. Paul W. Johnson
Chief
Natural Resources Conservation Service
U.S. Dept. of Agriculture
P.O. Box 2890 MNCS-USDA
Washington, D.C. 20013

Illinois

Ms. Mary A. Gade, Director
Illinois Environmental Protection Agency
2200 Churchill Road
Springfield, Illinois 62706

Indiana

Ms. Kathy Prosser, Commissioner
Indiana Department of Environmental Management
100 North Senate
PO Box 6015
Indianapolis, Indiana 46206-6015

Michigan

Mr. G. Tracy Mehan, III
Director, Office of the Great Lakes
Michigan Dept. of Natural Resources
P.O. Box 30028
Stevens T. Mason Building
Lansing, Michigan 48909

Minnesota

Dr. Patricia M. Burke
Manager, Water Quality Division
Minnesota Pollution Control Agency
520 Lafayette Road North
St. Paul, Minnesota 55155

New York

Mr. N.G. Kaul, P.E., Director
Division of Water
New York State Department of Environmental Conservation
50 Wolf Road
Albany, New York 12233-3500

Ohio

Dr. Don R. Schregardus, Director
Ohio Environmental Protection Agency
P.O. Box 163669, 1800 WaterMark Dr.
Columbus, Ohio 43216-3669

Pennsylvania

Mr. James Rozakis
Assistant Regional Director
Meadville Regional Office
Pennsylvania Dept. of Environmental Resources
1012 Water Street
Meadville, Pennsylvania 16335

Wisconsin

Ms. Susan Sylvester (nominee)
Wisconsin Dept. of Natural Resources
Administrator, AD/ 5
Division of Environmental Quality
101 S. Webster St.
P.O. Box 7921
Madison, Wisconsin 53707-7921

Services de secrétariat

M. John F. McDonald, secrétaire
Bureau régional des Grands Lacs
Commission mixte internationale
100, avenue Ouellette, 8^e^ étage
Windsor (Ontario) N9A 6T3

Liaison entre les sections

Mr. James G. Chandler
International Joint Commission
United States Section
1250 23rd Street NW, Suite 100
Washington, D.C. 20440

M. Edward A. Bailey
Commission mixte internationale
Section canadienne
100, rue Metcalfe, 18^e^ étage
Ottawa (Ontario) K1P 5M1

Chapitre Deux :

LE CONSEIL CONSULTIF SCIENTIFIQUE DES GRANDS LACS

2.0 ACTIVITÉS DU CONSEIL CONSULTATIF SCIENTIFIQUE 66
Introduction 66

2.1 SOMMAIRE DES RECOMMANDATIONS DU CONSEIL CONSULTATIF SCIENTIFIQUE 67

2.2 LA SANTÉ HUMAINE ET LA SALUBRITÉ DE L'ÉCOSYSTÈME : QUESTIONS DE SIGNIFICATION ET DE MESURE 70
2.2.1 Introduction 70
L'écosystème 70
La santé humaine 71
Salubrité de l'écosystème 71
Modèles scientifiques et métaphores fondamentales 71
«Mesure» de la salubrité de l'écosystème 72
Conclusions 73
2.2.2 Incidences d'origine humaine sur l'écosystème 73
Conclusions 75
2.2.3 Le fardeau des maladies environnementales 75
Indicateurs de la charge que représentent les maladies environnementales 79
2.2.4 Critères de sélection des indicateurs 81
2.2.5 Sommaire 82
2.2.6 Recommandations 82

2.3 LE FARDEAU DE LA PREUVE : PRENDRE DES DÉCISIONS DANS L'INCERTITUDE 84
2.3.1 Introduction 84
Objectifs 85
2.3.2 Trois méthodes 85
Supposition de la causalité 85
Évaluation des risques 87
Comités scientifiques ou comités d'experts 90
2.3.3 Gestion des risques 90
Science civique 90
Principe de la prudence 94
2.3.4 Fardeau de la preuve 95
2.3.5 Synthèse et conclusions 96
2.3.6 Recommandations 99
Annexe I 99

2.4 MÉCANISMES TOXICOLOGIQUES - EXPOSITION AMBIANTE AUX AGENTS CHIMIQUES AGISSANT COMME MODIFICATEURS ENDOCRINIENS 102
2.4.1 Énoncé du problème 102
2.4.2 Symposium de Wingspread parrainé par la CMI 103
2.4.3 Énoncé général du symposium de Wingspread (13 et 14 janvier 1995) — Effets des hormones sur les fonctions neurocomportementales : priorités des recherches futures 103
2.4.4 Conclusion et recommandations 105

2.5 PROGRAMMES FÉDÉRAUX, PROVINCIAUX ET D'ÉTAT SUR LA RÉDUCTION DES SUBSTANCES TOXIQUES ET ACTIVITÉS CONNEXES DANS LE BASSIN DES GRANDS LACS : ÉVALUATION PRÉLIMINAIRE 106
2.5.1 Introduction 106
2.5.2 Mandat 106
2.5.3 Sommaire des études de base 106
2.5.4 Résultats généraux 106
2.5.5 Recommandations 109

2.6 SUIVI DES ACTIVITÉS DU GROUPE DE TRAVAIL SUR L'ÉLIMINATION VIRTUELLE 110
2.6.1 Évolution du cadre stratégique à l'égard des substances toxiques persistantes 110
2.6.2 Mise en oeuvre de la stratégie du GTEV — Vers une industrie durable 111
2.6.3 Atelier parrainé par le Groupe de travail sur la mise en oeuvre par les Parties 111
2.6.4 Recommandations 112

2.7 INCIDENCES DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LES GRANDS LACS : VERS UNE STRATÉGIE BINATIONALE 114
2.7.1 Aspects internationaux 114
2.7.1.1 Introduction 114
Évaluation 114
Recherche 114
Cycle hydrologique 115
Conclusions 115
2.7.2 Évaluation régionale des écosystèmes d'eaux douces et du changement climatique en Amérique du Nord 116
2.7.3 Démarche binationale à l'égard des Grands Lacs 117
Objectifs et cadre de la recherche 118
Possibilités de recherche 119
2.7.4 Conclusions et recommandations 119

2.8 DÉFINITION ET ÉVALUATION DES PROBLÈMES NOUVEAUX 121
2.8.1 Introduction 121
2.8.2 Enquête dans la région des Grands Lacs 121
Conclusions 121
2.8.3 Relevé mondial des priorités au-delà de la région des Grands Lacs 123
Introduction 123
Constatations 123
Conclusion 128
2.8.4 Recommandation 128

2.9 BIBLIOGRAPHIE 128

2.10 MEMBRES DU CONSEIL CONSULTATIF SCIENTIFIQUE ET DU GROUPE DE TRAVAIL 134

2.11 INSTITUTIONS MIXTES ET AUTRES ENTITÉS CONSULTATIVES QUI RELÈVENT DE LA COMMISSION MIXTE INTERNATIONALE ET ONT UN MANDAT GÉNÉRAL OU PARTICULIER EU ÉGARD À L'ACCORD RELATIF À LA QUALITÉ DE L'EAU DANS LÈS GRANDS LACS : PRIORITÉS DE 1993-1995 136

FIGURES

1. Caractérisation des risques environnementaux : Lien entre l'évaluation des risques et la gestion des risques 87
2. Les spécialistes scientifiques et professionnels accomplissent souvent leur travail en recourant à différentes attitudes mentales. Des initiatives transdisciplinaires ont le pouvoir de s'intégrer à tous les types de disciplines et de professions, de même qu'à des méthodes et à des états d'esprit variés, en plus d'être répétitives 91
3. Cadre d'intégration du projet binational 118

TABLEAUX

1. Critères pour l'évaluation des études épidémiologiques établissant des liens entre l'exposition aux substances toxiques dans l'environnement et les effets sur la santé 76
2. Critères de sélection des indicateurs de la salubrité de l'environnement élaborés par le Conseil des gestionnaires de la qualité de l'eau des Grands Lacs 80
3. Comparaison des approches pour l'évaluation et la prise de décisions 98
4. Quarante-huit agents chimiques très répandus dans l'environnement, qui dérégleraient les systèmes génésique et endocrinien 102
5. Comparaison entre les programmes américains et canadiens de protection de la nappe phréatique 108
6. Calendrier des activités du projet relatif au bassin des Grands Lacs et du Saint-Laurent 120
7. Problèmes nouveaux : résultats de l'enquête et effort actuel de recherche d'après l'inventaire des recherches 1991-1992 du Conseil des gestionnaires de la recherche des Grands Lacs (CGRGL) 122
8. Groupe de travail sur les problèmes nouveaux du Conseil consultatif scientifique - Sommaire des interventions internationales 124
9. Caractéristiques générales des principaux problèmes relatifs à la qualité de l'eau à l'échelle mondiale 127
10. Principaux intérêts du Programme canadien des changements à l'échelle mondiale 127

2.0 ACTIVITÉS DU CONSEIL CONSULTATIF SCIENTIFIQUE

Introduction

L'Accord relatif à la qualité de l'eau dans les Grands Lacs fait état du mandat du **Conseil consultatif scientifique** (CCS) qui est une institution mixte à laquelle il incombe de jouer le rôle de «... conseiller scientifique auprès de la Commission et du Conseil de la qualité de l'eau». Par le biais d'une approche fondée sur l'intégration, y compris les sciences naturelles, physiques et sociales, le Conseil s'acquitte de son rôle principal dans trois secteurs :

- l'évaluation et la fourniture de conseils relatifs à la salubrité de l'écosystème du bassin des Grands Lacs, y compris des données scientifiques à l'appui de la politique gouvernementale;
- l'examen et l'évaluation de la politique et des programmes scientifiques relatifs à la mise en oeuvre de l'Accord par les parties;
- la détermination et l'évaluation des problèmes nouveaux et des priorités futures.

Afin de s'acquitter de ces responsabilités, le Conseil réunit 18 membres nommés par la Commission en fonction de leur expérience et de leurs compétences, qui sont chargés de fournir des conseils scientifiques à titre indépendant en vertu de l'Accord. Les membres du Conseil consultatif scientifique sont recrutés dans l'industrie, dans les milieux universitaires et dans les organisations gouvernementales et non gouvernementales; le Conseil se compose de spécialistes dans diverses disciplines.

Afin de traiter en profondeur des questions qui lui ont été confiées par la Commission suivant les priorités retenues pour la période biennale 1993-1995, le Conseil a continué de faire appel aux trois groupes de travail composés de membres du CCS et d'autres personnes ayant les compétences voulues. Les groupes de travail du Conseil axent leurs efforts sur la salubrité de l'écosystème, sur la mise en oeuvre par les parties et sur les problèmes nouveaux. En règle générale, chaque groupe de travail s'est réuni aux trois mois et a fait rapport au Conseil à ses réunions régulières. Pendant la période biennale 1993-1995, les priorités de la CMI attribuées au Conseil et les activités du Conseil relatives aux problèmes nouveaux et à l'évaluation de la technologie ont été confiées aux groupes de travail comme suit :

- Groupe de travail sur la salubrité de l'écosystème : mécanismes toxicologiques, fardeau de la preuve et mesure de la salubrité de l'écosystème
- Groupe de travail sur la mise en oeuvre par les parties : programmes de lutte contre les produits toxiques réalisés par les parties et suivi relatif au Groupe de travail sur l'élimination virtuelle
- Groupe de travail sur les problèmes nouveaux : changement climatique, questions d'actualité et la composante technologique de l'atelier sur la prévention de la pollution du Conseil de la qualité de l'eau.

Le Conseil examine, compile et approuve les rapports, les conclusions et les recommandations des groupes de travail avant de les présenter à la Commission dans son rapport biennal.

En plus des personnes autres que les membres du Conseil qui font partie des groupes de travail, le Conseil consultatif scientifique a également bénéficié de la participation des membres du Conseil de la qualité de l'eau et du Conseil des gestionnaires de la recherche des Grands Lacs qui ont contribué aux travaux des groupes de travail en assumant des fonctions d'appui et/ou de liaison. Cette participation a permis des consultations et la coordination relatives aux activités consultatives dans le cadre des priorités établies.

2.1 SOMMAIRE DES RECOMMANDATIONS DU CONSEIL CONSULTATIF SCIENTIFIQUE

2.2 La santé humaine et la salubrité de l'écosystème : questions de signification et de mesure

Le Conseil consultatif scientifique recommande que :

- la Commission, dans le cadre de ses activités prioritaires et des conseils donnés aux parties, appuie d'autres recherches pour la détermination des concentrations ambiantes d'exposition aux produits chimiques toxiques dans le bassin des Grands Lacs et intègre les principaux généraux suivants pour la détermination d'autres indicateurs de la charge que représentent les maladies environnementales :
  - la surveillance continue des toxiques dans les milieux, y compris les trihalométhanes, les nitrates, les contaminants microbiens dans l'eau de boisson, les MP-10, l'ozone et les sulfates dans l'atmosphère ainsi que les produits chimiques toxiques bioaccumulables en général
  - la synthèse systématique des résultats des échantillonnages d'eau pour la recherche des contaminants microbiens qui conduisent à la fermeture des plages. Envisager la possibilité d'ajouter à ces données des informations sur les symptômes observés chez les utilisateurs des plages.
  - l'inclusion de facteurs pertinents relatifs à l'exposition dans le milieu ambiant (par ex. le temps passé à l'extérieur d'après le relevé des activités) et de facteurs liés à la consommation (par ex. la faune et le poisson d'eau douce) dans les études représentatives sur la santé. On pourrait lier les mesures générales représentatives de contaminants clés dans les liquides corporels (par ex. les BPC ou le DDE - les organochlorés - dans le sérum et le lait maternel, le mercure et le plomb - les métaux - dans le sang entier) avec ces facteurs et d'autres facteurs sociaux pertinents.
  - la surveillance des conséquences établies liées à la salubrité de l'environnement, par exemple l'asthme, de façon à ce que ces conditions puissent être considérées comme des sentinelles qui avertissent des effets de la pollution
  - la reconnaissance du fait que certains indicateurs de la maladie chez l'homme conviennent mal à la fourniture d'informations utiles sur les répercussions de questions environnementales sur la santé humaine, par ex. la plupart des données sur la morbidité et la mortalité qui sont habituellement recueillies, y compris les pourcentages des cas de cancer
  - l'élaboration de structures longitudinales relatives à l'exposition et aux conditions d'intérêt pour formuler des conclusions plus fermes quant aux relations entre l'exposition et les conséquences sur la santé
- la Commission appuie les mesures qui permettraient de réduire l'exposition des personnes aux substances toxiques persistantes, par exemple les BPC, et de diminuer les concentrations de ces substances dans les tissus humains
- la Commission appuie l'élaboration d'indicateurs et d'échelles qui mesurent le niveau de salubrité environnementale ainsi que d'indices du stress et de l'état de l'environnement
- la Commission continue de surveiller la production de rapports sur l'état de l'environnement et le développement durable dans le but de fournir de l'information, dans ses recommandations à l'intention des parties, concernant les indicateurs dans le bassin des Grands Lacs. Étant donné que ces rapports utilisent souvent une approche à grande échelle pour le choix des indicateurs, cette surveillance est nécessaire pour faciliter l'intégration des considérations touchant à l'exposition des êtres humains dans les évaluations de la contamination des espèces de poisson et de faune pertinentes.

2.3 Le fardeau de la preuve : prendre des décisions en situation d'incertitude

Le Conseil consultatif scientifique recommande que :

- la caractérisation scientifique des risques comprenne officiellement la divulgation (1) des choix enchâssés dans la conception des recherches à l'appui; (2) des modificateurs des facteurs de risque utilisés; et (3) de toutes les incertitudes pertinentes
- la caractérisation des risques effectuée pour la prise de décisions relatives à l'environnement examine de façon explicite les conséquences indirectes possibles découlant des caractéristiques du danger, des voies et de la réaction du milieu d'accueil, comme on l'a mentionné à l'annexe I de la présente section
- les décideurs cherchent à obtenir ou recommandent des évaluations des valeurs pertinentes, des analyses légales et réglementaires, des évaluations socio-économiques, des analyses d'équité, des analyses éthiques et des évaluations des impacts cumulatifs en tant qu'apports nécessaires aux décisions en matière de gestion des risques
- les décisions de la Commission fondées sur le fardeau de la preuve fassent clairement état de la preuve utilisée, des hypothèses, des valeurs, des incertitudes et des conséquences en jeu
- le niveau de preuve requis (hors de tout doute raisonnable, ou selon toute probabilité) soit clairement indiqué

- le risque posé par l'inaction soit pris en compte dans les débats concernant la gestion des risques

- les recommandations et les décisions de la Commission fondées sur le fardeau de la preuve comportent des décisions parallèles concernant la surveillance raisonnable nécessaire pour l'évaluation des progrès vers le but souhaité ou, au contraire, à titre d'indicateur d'une mauvaise décision

- les recommandations et les décisions de la Commission fondées sur le fardeau de la preuve, de par leur nature provisoire, englobent des stratégies claires pour une coopération en continu entre les scientifiques et les gestionnaires

- le développement futur d'une base éthique pour l'organisation et l'établissement de l'ordre de priorité des buts en matière de santé humaine et d'intégrité de l'environnement, en cas de conflit possible entre ces buts, soit entrepris.

2.4 Mécanismes toxicologiques : exposition environnementale à des agents chimiques agissant comme modificateurs endocriniens

Le Conseil consultatif scientifique recommande que :

- les gouvernements, les milieux universitaires, le grand public et l'industrie consentent des efforts concertés pour orienter la recherche de manière à :

  1. déterminer, s'il en est, les expositions ambiantes aux agents chimiques qui sont ou pourraient être des effecteurs endocriniens chez les êtres humains. Quelles sont, pour les agents chimiques répertoriés, l'exposition et la relation dose-réponse qui définissent les possibilités d'effets nocifs?
  2. déterminer quels sont les effets et la morbidité qui, chez les êtres humains, peuvent se rattacher à une modification endocrinienne due à l'exposition à des agents chimiques présents dans le milieu et à quel stade de développement l'être humain est le plus sensible à ces effets
  3. déterminer les mécanismes d'action des expositions ambiantes aux agents chimiques en ce qui concerne la modification endocrinienne et voir comment on peut faire intervenir ces connaissances dans le processus d'évaluation du risque
  4. voir si l'on peut concevoir des relations entre la structure et l'activité pour prévoir avec exactitude les expositions ambiantes aux agents chimiques qui risquent de modifier le système endocrinien
  5. voir si l'on peut mettre au point des marqueurs biologiques sensibles de la modification endocrinienne et en valider l'usage chez les animaux et les humains exposés aux agents chimiques présents dans le milieu
  6. voir, chez les animaux, si l'on peut distinguer les expositions ambiantes aux agents chimiques qui sont des effecteurs endocriniens d'autres agresseurs environnementaux, par exemple la disparition de l'habitat, la malnutrition ou une évolution de la dynamique de l'écosystème susceptible d'influer de manière analogue sur le système endocrinien
  7. voir, chez les humains, si l'on peut distinguer les expositions ambiantes aux agents chimiques qui sont des effecteurs endocriniens des effets endocriniens causés par des facteurs endogènes, alimentaires ou d'autres facteurs agressifs du mode de vie (perte d'emploi, etc.). Comment peut-on étudier leurs interactions?
  8. déterminer les cohortes exposées à des agents chimiques dont on peut se servir pour étudier le potentiel qu'a l'exposition ambiante aux agents chimiques de modifier les fonctions endocriniennes ou les fonctions organiques touchées par le système endocrinien
  9. voir si l'on peut concevoir des techniques pour endiguer la sécrétion des effecteurs endocriniens. Peut-on mettre au point des technologies plus efficaces?

2.5 Programmes fédéraux, provinciaux et d'État sur la réduction des substances toxiques et activités connexes dans le bassin des Grands Lacs : évaluation préliminaire

Le Conseil consultatif scientifique recommande que :

- la Commission considère les programmes de réduction des agents toxiques comme une priorité d'action pour le prochain cycle de deux ans. Pour favoriser cette priorité, la CMI doit créer au sein du Conseil consultatif scientifique, et de concert avec le Conseil de la qualité de l'eau et le Conseil des gestionnaires de la recherche des Grands Lacs, un groupe de travail spécial qui aura pour mandat :

  a) d'élaborer des mécanismes et des critères bilatéraux normalisés pour évaluer les lois, les programmes et les activités de collecte des données en matière de gestion des agents chimiques toxiques;
  b) de conseiller la Commission sur la conception et la mise en oeuvre de ces activités afin d'évaluer les charges de substances toxiques déversées dans le bassin des Grands Lacs.

- la Commission rappelle avec insistance aux parties la recommandation du *Septième rapport biennal sur la qualité de l'eau dans les Grands Lacs* de la Commission, qui s'énonçait comme suit :

  - que les gouvernements adoptent une stratégie binationale concrète et coordonnée dans un délai de deux ans établissant un ensemble commun d'objectifs et de méthodes d'intervention afin de stopper les apports de substances toxiques rémanentes dans l'environnement des Grands Lacs, en s'appuyant sur le cadre élaboré par le Groupe de travail sur l'élimination virtuelle.

2.6 Suivi du groupe de travail sur l'élimination virtuelle

Le Conseil consultatif scientifique recommande que :

- la Commission considère la planification du passage à l'élimination virtuelle comme une priorité pour l'étude et la recherche ultérieures au cours du prochain cycle de deux ans. Les éléments de cette recherche doivent comprendre :

  - une étude de plusieurs dossiers individuels où l'on a consenti des efforts bien précis pour faciliter la transition d'un secteur industriel à la suite d'un

changement de conditions (par exemple la réduction des effectifs militaires ou la disparition progressive de certaines substances, comme les CFC) afin de tirer des leçons de ces acquis

- une enquête destinée à répertorier les principaux contributeurs de dioxines dans les Grands Lacs

- l'élaboration d'un plan de transition, avec la participation des intervenants importants, destiné à l'élimination virtuelle des apports de dioxines de l'un des principaux participants. L'élaboration d'un modèle de plan servirait de tribune à un débat sur le cadre général et les principaux éléments d'un plan de transition. Entreraient dans le mandat de l'étude :
  1. la définition de la planification de la transition
  2. les principes importants qu'il faudrait suivre pour élaborer un plan (par exemple l'identité de ceux qui devraient participer à la conception du plan, la période requise, entre autres)
  3. la définition et la faisabilité des mécanismes de transition (comme un fonds de transition) ainsi que leurs possibilités et les obstacles qui s'opposeraient à leur fonctionnement dans la pratique
  4. la nécessité éventuelle de créer un cadre institutionnel pour l'élaboration, la mise en oeuvre et le suivi du processus de transition, que ce soit au palier local, régional, national ou international

- la Commission parraine une ou plusieurs tables rondes pour engager les principaux intervenants dans un dialogue sur le sujet et pour expliciter la façon dont il y a lieu d'interpréter et d'appliquer le mandat;

- la Commission recherche activement des moyens pour prendre part au dialogue international sur la planification de la transition, tant en Amérique du Nord qu'en dehors du continent;

- la Commission mixte internationale rappelle plus particulièrement aux gouvernements la recommandation n° 20 de son *Septième rapport biennal*, selon laquelle elle proposait que les gouvernements, l'industrie et les organisations syndicales commencent à élaborer des plans pour faire face aux perturbations économiques et sociales qui pourraient se produire à la suite de l'élimination graduelle des substances toxiques rémanentes.

Outre ce rappel, la Commission recommande aux gouvernements qui oeuvrent dans le bassin des Grands Lacs :

- d'inclure lorsqu'ils le jugent nécessaire, soit en cas de désorganisation sérieuse de la population active ou de la collectivité, les éléments de planification de la transition dans les engagements pris expressément à l'égard des substances dont on a déjà prévu la suppression graduelle, telles celles dont on a dressé la liste aux termes de l'entente Canada-Ontario (1994) et dans le cadre du programme binational du lac Supérieur

- de rendre compte tous les deux ans à la CMI des progrès accomplis dans l'implantation de ces mécanismes de transition.

2.7 Incidences du changement climatique sur les Grands Lacs : vers une stratégie binationale

Le Conseil consultatif scientifique recommande que :

- l'on encourage les parties à soutenir le parachèvement du plan binational de mise en oeuvre jusqu'en l'an 2001 conformément à l'échéancier prévu au tableau 6;

- les parties parrainent un symposium quinquennal sur le changement climatique dans le bassin des Grands Lacs et en assurent la continuité après la manifestation prévue pour 1996 dans le cadre d'une importante tribune scientifique où l'on débattra du changement climatique et où l'on mesurera les progrès accomplis dans son évaluation et l'adaptation à son égard;

- la CMI fasse une plus grande place, dans ses recommandations aux parties, à la recommandation du rapport de 1993 du Conseil consultatif scientifique, à savoir que les parties doivent prendre des engagements à long terme en matière de recherche sur le changement climatique en vertu de l'annexe 17 de l'accord relatif à la qualité de l'eau dans les Grands Lacs et rendre compte des progrès de manière globale et systématique dans le contexte d'un rapport sur l'état de l'écosystème du bassin des Grands Lacs.

2.8 Définition et évaluation des problèmes nouveaux

Le Conseil consultatif scientifique recommande que :

- l'on considère comme des questions à débattre en priorité pendant les deux prochaines années les problèmes jugés éventuellement importants par la Commission mixte internationale. Il s'agit de problèmes complexes, surtout celui de la durabilité qui a ressurgi lors de chaque étude, et dont la solution exigerait les ressources de la CMI relativement aux répercussions des progrès réalisés dans le cadre de l'accord relatif à la qualité de l'eau dans les Grands Lacs. Les problèmes jugés les plus saillants sont notamment :
  1. le développement durable
  2. la stabilité des niveaux de l'eau
  3. les effets des UV-B sur les biotes
  4. les différentes répercussions de l'**accord de libre-échange nord-américain** (ALENA)
  5. les choix de modes de vie en tant que facteur de l'intégrité des écosystèmes
  6. la fréquence de l'endométriose chez les femmes qui consomment le poisson des Grands Lacs.

2.2 LA SANTÉ HUMAINE ET LA SALUBRITÉ DE L'ÉCOSYSTÈME : QUESTIONS DE SIGNIFICATION ET DE MESURE

2.2.1 Introduction

La tâche initiale à laquelle s'est attaqué le sous-groupe de l'évaluation de la salubrité de l'écosystème dans le cadre des priorités établies pour la période biennale 1993-1995 consistait à produire un document de travail sur les méthodes de diagnostic, de pronostic, de traitement et de rétablissement des écosystèmes soumis à un agent stressant. La plupart des membres ont assisté au premier symposium international sur la salubrité de l'écosystème et la médecine tenu à Ottawa, du 19 au 23 juin 1994. Ce symposium a été l'occasion d'examiner de façon très détaillée les questions liées à cette tâche prioritaire. Compte tenu des apports des participants au symposium et des discussions parmi les membres du sous-groupe, cette tâche consistait essentiellement à traiter en termes clairs de l'influence des écosystèmes sur la santé humaine et du rôle des valeurs humaines lorsqu'il s'agit de définir la «santé» d'un écosystème. Un marché a été conclu avec la chaire de la salubrité de l'environnement, à l'Université McMaster, pour la production d'une monographie sur ce sujet. Cette chaire de recherche qui s'inscrit dans le programme Éco-recherche réalisé dans le cadre du Plan vert d'Environnement Canada traite des questions environnementales dans un contexte interdisciplinaire et compte parmi ses objectifs l'examen du concept de la salubrité d'un écosystème. Le titulaire de la chaire, John Eyles, sociogéographe de réputation internationale, et son adjoint, Donald Cole, spécialiste en épidémiologie environnementale, réunissaient les compétences nécessaires pour mener à bien cette tâche. Leur monographie intitulée *Human Health in Ecosystem Health: Issues of Meaning and Measurement* est désormais publiée.

La présente section du rapport du **Conseil consultatif scientifique** (CCS) puise largement dans le contenu de cette monographie, avec l'autorisation des auteurs, du fait qu'elle a été produite parallèlement à la rédaction de ce document. Cependant, il ne s'agit pas simplement d'un condensé de la monographie. On y trouve les opinions du Groupe de travail sur la salubrité de l'écosystème du CCS ayant reçu l'aval du Conseil, et non pas nécessairement uniquement les opinions de MM. Eyles et Cole.

Dans la monographie, les auteurs examinent la salubrité de l'écosystème par rapport au bien-être de l'environnement humain dans son sens le plus large, qui est considéré comme essentiel à la santé humaine. Selon eux, il faudrait entreprendre un examen systématique des indicateurs de la qualité de vie tirés d'un éventail de documents afin d'établir pour les populations du bassin des Grands Lacs des mesures appropriées de la santé et du bien-être qui ne se limitent pas simplement aux mesures de la charge que représentent les maladies environnementales. La présente section, étant donné sa portée plus restreinte, traite de la santé humaine, celle-ci étant principalement définie comme l'absence de maladie, c'est-à-dire qu'elle vise à souligner à l'intention du CCS ce que l'on sait de la maladie chez l'homme résultant de l'exposition à des agents présents dans les écosystèmes, plutôt que des maladies associées à la génétique humaine, aux comportements inhérents au mode de vie, à l'alimentation ou aux déterminants sociaux comme la classe, la pauvreté, l'éducation et l'estime de soi. Avant d'effectuer une analyse de la charge que représentent les maladies environnementales et des indicateurs appropriés pour son évaluation dans le bassin des Grands Lacs, il faut commencer par faire un examen des notions de la salubrité de l'écosystème et de la santé humaine.

L'écosystème

Le concept de l'écosystème est enraciné dans le concept plus large de l'écologie. L'écologie est la branche de la biologie qui étudie les rapports entre les êtres vivants et le milieu. Notre expérience de la nature est conditionnée dans une large mesure par l'expérience que nous avons de nous-mêmes en tant qu'organisme et par notre expérience des autres créatures que notre sens de la vue nous fait voir comme des organismes distincts. L'écologie tente de tout voir dans un ensemble et de comprendre l'interdépendance des différents éléments. Il existe de nombreuses définitions du terme écosystème utilisées en écologie, mais trois sens généraux sont retenus.

Un écosystème peut être une région naturelle identifiable; dans ce sens, c'est une chose réelle, une entité en soi et non pas une construction de l'esprit humain utilisée pour comprendre la réalité. L'écosystème comprend le paysage géographique et tout ce qui s'y trouve. Comme tel, c'est une chose que nous, en tant qu'êtres humains, pouvons apprécier et avec laquelle nous pouvons établir des liens, mais ce n'est pas un modèle ni un cadre analytique pouvant servir à une étude scientifique. Par exemple, l'écosystème du bassin des Grands Lacs possède une dimension géographique que les humains peuvent percevoir et comprendre. L'écosystème en tant que modèle scientifique dans lequel des mesures peuvent être effectuées est abordé selon deux optiques. Il y a l'approche relative à la population et à la collectivité, laquelle met l'accent sur la croissance des populations, sur l'organisation et la composition des communautés d'organismes et sur les interactions entre les organismes individuels (O'Neill et coll., 1986). Suivant cette approche, les écosystèmes sont des réseaux de populations d'organismes vivants interdépendants; donc, en fait, le biote constitue l'écosystème tandis que les composantes abiotiques sont considérées comme des influences extérieures ou comme une toile de fond dans laquelle s'insèrent les interactions entre les organismes vivants. L'autre approche s'appuie sur les processus et les fonctions; elle met l'accent sur les modèles biophysiques des flux d'énergie et du cycle des éléments nutritifs (par ex. Kay, 1991).

On peut également considérer l'écosystème comme un outil de gestion tout à fait abstrait. Allen et Hoekstra (1992)

soutiennent que l'observateur utilise un filtre dans ses rapports avec le monde. Il faut prendre en compte non seulement des définitions et la détermination des changements critiques, mais aussi la nature des mesures et du processus de collecte des données. L'écosystème est le système que nos instruments de mesure et nos techniques de collecte de l'information nous permettent de voir. Si l'on formule le tout un peu différemment, on peut dire que l'impact de l'homme sur les écosystèmes dépend en partie de *la façon* dont nous observons tout autant que de *ce que* nous observons (Bandurski, 1994).

La santé humaine

Qu'est-ce que la santé humaine? On attribue des sens positifs et négatifs à ce terme. Suivant l'approche biomédicale, la santé est l'absence de maladie, la maladie étant un état anormal affectant une partie du corps (ou, par extension, de l'esprit). Cette approche biomédicale sert de base à la plupart des recherches toxicologiques et épidémiologiques sur les conséquences sur la santé humaine, sur l'exposition et sur les effets. On peut utiliser de façon analogique le concept de l'absence de maladie en disant que l'absence de dégâts importants est synonyme de salubrité dans le cas des écosystèmes.

L'absence d'affection est une autre définition de la santé considérée d'un point de vue «négatif». Affection et maladie ne sont pas nécessairement associées l'une à l'autre. Souvent, on fait la distinction entre les deux comme suit : la maladie est diagnostiquée par un médecin ou par un autre professionnel de la santé tandis que l'affection est un état que l'on ressent. Si une personne ne ressent ni anxiété, ni souffrance, ni détresse, même si elle souffre de maladie, cette personne est en santé. Par contre, même en l'absence de maladie, une personne qui ressent de l'anxiété, de la souffrance ou de la détresse est une personne malade. Lorsqu'il est question d'environnement, la perception du risque associé à l'exposition aux produits chimiques ou à d'autres agents présents dans l'environnement est souvent une cause d'anxiété et de détresse et, par conséquent, une source de mauvaise santé. Cependant, il est important de noter que le sentiment de crainte réside dans le fait qu'un agent toxique a déjà causé ou causera une maladie. Notre perception du bien et du mal dans notre monde moderne où la science occupe une place prépondérante est fortement conditionnée par le modèle biomédical. Il est difficile d'appliquer cette définition de la santé aux écosystèmes. Suivant la philosophie anthropocentrique habituelle, l'homme est l'organisme qui jouit du plus haut niveau de conscience dans l'écosystème et, par conséquent, il est plus sujet à la douleur et à l'anxiété que les autres organismes.

On compte quatre définitions positives de la santé humaine. Premièrement, on peut considérer la santé comme l'état qui permet aux gens de réaliser leur plein potentiel personnel (Seedhouse, 1986). Des éléments fondamentaux sont nécessaires à la santé, mais celle-ci sert également de base à la satisfaction de besoins humains d'un niveau supérieur, par exemple l'empathie et la réalisation de soi. Dubos (1959) perçoit la santé comme la capacité de s'adapter à des situations nouvelles ou changeantes. Cette capacité est considérée comme une caractéristique fondamentale de l'homme, dont font partie la capacité et la volonté de l'homme de modifier l'environnement ou l'écosystème pour ses fins propres. La troisième définition positive est celle de l'**Organisation mondiale de la santé** (OMS, 1948) suivant laquelle la santé est «un état de bien-être physique et social complet et non pas simplement l'absence de maladie ou d'infirmité». Finalement, la définition de Parsons (1972) met aussi l'accent sur l'idéal, la santé étant «l'état de capacité optimale permettant à la personne de s'acquitter de façon efficace des tâches et des fonctions pour lesquelles elle a été socialisée». Toutes les définitions positives de la santé mettent l'accent sur la capacité de la personne de fonctionner.

Salubrité de l'écosystème

Callicott (1992) élabore une définition de la salubrité de l'écosystème fondée sur le concept de la salubrité des terres formulé par Leopold. Pour Leopold (scientifique conservationniste de la fin des années 1930 et des années 1940), le concept de la salubrité des terres est lié à l'intégrité structurale et à la continuité ou à la stabilité des communautés biotiques pendant de longues périodes. Selon Callicott, les écosystèmes où règnent l'ordre, la stabilité et la continuité sont salubres, et il est tout aussi possible et essentiel de maintenir la salubrité des terres que d'assurer le maintien de la santé humaine ou de la santé économique d'une nation. De même, la définition de Haskell et coll. (1992) englobe les concepts de stabilité, de pérennité et d'autorenouvellement établis par Leopold.

> *Un système écologique est considéré comme étant salubre et épargné par le «syndrome des dégâts importants» (le processus irréversible de la dégradation du système qui conduit à l'effondrement) s'il est stable et durable — c'est-à-dire, s'il est dynamique et s'il conserve son organisation et son autonomie au fil des ans et s'il réagit bien au stress. Donc, la salubrité de l'écosystème est étroitement liée au concept de la durabilité, qui est considérée comme une mesure globale, à échelles multiples et dynamique de la résilience, de l'organisation et de la vigueur du système. Par conséquent, un système malade est un système qui n'est pas durable et qui finira par cesser d'exister.* (p. 248) [TRADUCTION]

Parallèlement au concept de la salubrité de l'écosystème, on trouve le concept de l'intégrité de l'écosystème (ou écologique). Le but de l'*Accord de 1978 relatif à la qualité de l'eau dans les Grands Lacs* consiste à «rétablir et conserver l'intégrité chimique, physique et biologique des eaux de l'écosystème du bassin des Grands Lacs». L'intégrité de l'écosystème qualifie la capacité d'un système naturel de fonctionner de façon optimale. Ce concept est analogue aux définitions positives de la santé humaine. La notion de salubrité de l'écosystème implique que le système naturel est capable de fonctionner dans des conditions environnementales normales tandis que le concept de l'intégrité de l'écosystème suppose que le système peut conserver un niveau de fonctionnement optimal tout en subissant un stress et qu'il peut continuer à évoluer et à se développer suivant un processus d'auto-organisation (Kay, 1993).

Modèles scientifiques et métaphores fondamentales

L'étude scientifique exige l'organisation des observations suivant un modèle qui permet d'effectuer des mesures. Le modèle contribue à une meilleure compréhension des phénomènes d'intérêt, mais sa validité dépend de sa capacité de prévoir le comportement des composantes du système considérées dans leur ensemble, même si le modèle n'a pas été élaboré à des fins utilitaires. Des mesures précises sont des indicateurs désignés parce qu'elles reflètent l'importance d'une caractéristique donnée à l'intérieur du modèle ou englobent le potentiel de prévision du modèle. Hunsaker et Carpenter (1990) donnent la

définition suivante de l'indicateur de l'environnement : «caractéristique de l'environnement qui, une fois mesurée, quantifie l'ampleur du *stress*, les caractéristiques de l'habitat, le degré d'*exposition* à un *agent stressant*, ou le degré de *réaction* environnementale à l'exposition» (l'italique est de nous) [TRADUCTION]. Cette approche relative aux indicateurs est étayée par les conceptualisations faites par la CMI (1991), à savoir l'autorégulation ou l'autodurabilité des systèmes écologiques, l'utilisation durable de l'écosystème à des fins économiques ou à d'autres fins d'ordre social et le développement durable visant à assurer le bien-être de l'homme. Cependant, le but ou l'utilisation - l'objet de l'indicateur, ce qu'il doit servir à mesurer - est déterminé par le modèle *a priori* établissant comment le monde (la société, l'environnement, etc.) fonctionne. Il ne faut jamais oublier que les indicateurs dérivent de modèles et dépendent de la nature des modèles eux-mêmes.

En ce qui concerne la «santé» de l'écosystème, le terme, qui s'applique habituellement aux *individus* humains, s'applique ici aux écosystèmes considérés comme des entités qui englobent des populations de nombreuses espèces liées les unes aux autres. Dans son sens le plus large, cette métaphore fait voir une chose du point de vue d'une autre chose (Brown, 1977), effectuant ainsi le transfert de sens d'un terme d'un système ou d'un niveau de signification à un autre. Cela fonctionne lorsque le terme est utilisé consciemment dans un contexte différent. Donc, les métaphores doivent non seulement avoir un sens, mais elles doivent également sous-entendre qu'elles ne sont pas littéralement absurdes. C'est notamment le cas des métaphores fondamentales qui sont utilisées pour illustrer des images et des valeurs de base concernant le monde. L'expression «santé de l'écosystème» est une métaphore du genre, son importance psychologique fondamentale étant liée au soi (via la santé) et au holisme (via l'écosystème).

Les modèles, tout comme les métaphores, servent à décrire l'expérience humaine et englobent les observations faites par l'homme, mais ils le font différemment. Les modèles utilisent les éléments qu'il est possible de mesurer, qui sont quantifiables. Pour leur part, les métaphores utilisent les éléments qui nous permettent de mieux comprendre un domaine au moyen d'analogies avec un autre domaine, mais qui ne peuvent être mesurés. En fin de compte, les modèles scientifiques sont des rapports mathématiques et nous donnent la capacité de prévoir le comportement d'un système. Les métaphores saisissent les similitudes entre les choses mais elles ne sont pas des caractéristiques inhérentes aux systèmes qu'elles décrivent. Les modèles et les métaphores sont tous deux dérivés *a priori* de notre connaissance du monde. Les deux représentent de sérieuses convictions sur le fonctionnement du monde.

Leur différence repose sur leur testabilité : un modèle scientifique se doit d'être testable et réfutable tandis qu'une métaphore s'inscrit dans une vue globale et seule une révolution intellectuelle peut entraîner sa mise en doute. Pourtant, si nous acceptons l'idée d'Allen et Hoekstrat (1992) selon lesquels les techniques d'observation sont des filtres, alors il est important de comprendre le caractère «humain» des modèles. Les modèles ont un sens uniquement dans le contexte des «limites de la science» et leur signification dépend non seulement de leurs conclusions mais aussi de la forme du modèle comme tel : son code scientifique. Donc, comme l'a affirmé Bateson (1972), la structure du sens dépend du code et de la façon dont celui-ci se transforme en un message (conclusions scientifiques). Si nous partageons un code (un modèle scientifique), nous pouvons comprendre les pièces manquantes -- elles sont intelligibles parce que nous utilisons le code pour nous assurer que toutes les parties du message s'intègrent les unes aux autres.

«Mesure» de la salubrité de l'écosystème

La question consiste donc à établir si la «santé» peut être plus qu'une simple métaphore, si c'est également une propriété mesurable des écosystèmes. Une bonne partie des ouvrages qui utilisent le concept de la salubrité de l'écosystème (par ex. Rapport, 1989, 1992; CPHA, 1992; Allen et coll., 1993) s'appuient sur les principes environnementaux suivants : 1) la théorie organismique (de Clements, 1905), que la plupart des écologistes ont abandonnée (Ehrenfeld, 1992); et 2) les concepts de stabilité, de succession, de diversité qui ont été remis en question par l'écologie «nouvelle» (Shrader-Frechette et McCoy, 1993; Zimmerman, 1994). Pour produire un modèle de la salubrité d'un écosystème, plutôt qu'une métaphore, il faudrait que les écologistes puissent faire la distinction entre un écosystème en bonne santé et un écosystème malade, tout comme le médecin peut faire la distinction entre une personne en bonne santé et une personne malade. Cependant, comme l'explique Ehrenfeld (1992, 137) :

> [si] *les communautés ont des identités établies,* [si] *elles sont normatives comme des organismes, nous pouvons facilement leur appliquer le concept de la normativité de la santé : si elles sont semblables, sur les plans fonctionnel et structurel, à leur idéal abstrait, elles sont en bonne santé; si elles en dévient de façon marquée, elles sont malades. Si l'idée voulant que les communautés ont un équilibre normatif, un point d'équilibre, était encore largement acceptée, alors le concept de la «santé» de l'environnement ne poserait que peu de difficultés... mais les concepts écologiques changent...les communautés ne sont plus considérées comme des entités normatives.*

Kelly et Harwell (1990) déplorent que l'analogie entre la «santé» de l'environnement et la santé humaine soit forcée, étant donné que les écosystèmes sont beaucoup plus complexes que le métabolisme humain; l'exposition d'un écosystème à des agents perturbateurs extérieurs signifie souvent que des parties de l'écosystème n'ayant que de vagues liens entre elles subissent cette exposition à divers degrés. Par contre, les tissus et les organes humains sont très fortement liés entre eux à l'intérieur de l'organisme et ils sont très dépendants les uns des autres.

Même en établissant un ensemble caractéristique d'idéaux normatifs en matière d'écosystèmes, le concept de la santé demeurerait quand même problématique. Tout comme les définitions de la santé humaine peuvent varier d'une personne à l'autre, suivant les cultures et avec le temps, il en est de même de la définition de la «santé» de l'environnement. L'application sans restriction des concepts de la «santé» ou de l'intégrité de l'écosystème peut conduire à l'application de «diagnostics médicaux» pour l'obtention d'un état de «santé» convenu. L'«écologie nouvelle» (terme utilisé pour décrire une réorientation théorique importante dans le domaine de l'écologie biologique) qui attire l'attention sur l'instabilité, le déséquilibre et les fluctuations chaotiques des systèmes environnementaux (Zimmerman, 1994) peut, en fait, faire du concept de la «santé» de l'environnement une source de difficultés dans le cadre des applications scientifiques. Bien que cette notion puisse s'harmoniser au débat sur les stratégies et les mesures environnementales et à leur élaboration, Sagoff (1985) de

même que Schrader-Frechette et McCoy (1993) ont mis en évidence l'incertitude dans le domaine des sciences écologiques.

Cependant, Fine et Sandstrom (1993) affirment que, en réalité, les gens voient et comprennent leur monde à l'aide de slogans et de métaphores simples comme «la santé de l'écosystème» et non pas au moyen de théories complexes. La «santé» de l'écosystème est une métaphore qui donne une image marquante de l'intérêt à l'égard de l'environnement manifesté à notre époque où l'écologie occupe une large place (Worthington, 1983) et qui renvoie à la nature *normative* et personnelle du concept de la santé. Les scientifiques réagissent à la métaphore à peu près de la même façon que le grand public (Gieryn, 1983). Ils sont guidés par des images culturelles dominantes lorsqu'ils décident des sujets de recherche appropriés et lorsqu'ils délimitent les « frontières de la science» qui, bien entendu, dépendent également de la façon dont les observations peuvent se faire. En fait, la métaphore de la «santé» de l'écosystème a été utilisée comme point de départ et comme outil heuristique important pour l'investigation scientifique relative aux *diagnostics* et aux *prescriptions* en matière d'environnement, en général, et dans le cas des Grands Lacs d'Amérique du Nord, en particulier. Pour les scientifiques tout comme pour les profanes, la métaphore de la «santé» de l'écosystème constitue une méthode d'engagement commun, une «ressource métaphorique» (Fine et Sandstrom, 1993, 26), pleine d'une signification commune et d'une orientation normative, à laquelle on peut faire appel pour légitimer une cause ou pour provoquer une réaction émotive. Donc, la métaphore de la «santé» de l'écosystème englobe l'approche écosystémique en matière de santé humaine de même que, dans une certaine mesure, la notion suivant laquelle un écosystème, tout comme un organisme, peut réagir négativement à un quelconque agent stressant extérieur et devenir malade ou «en mauvaise santé».

Conclusions

- Tous les indicateurs sont axés sur un but; essentiellement, ils servent à surveiller un changement dans le «système» compte tenu de résultats voulus donnés. Tous les indicateurs (du fait qu'ils sont choisis dans un univers inconnaissable groupant tous les indicateurs possibles) sont normatifs.

- L'«écosystème» ou l'«environnement» est une valeur d'intérêt fondamental dans le processus d'identification et en ce qui a trait aux préoccupations relatives aux populations dans le bassin des Grands Lacs.

- Il faudrait établir clairement les ensembles de valeurs qui déterminent le choix des indicateurs de la salubrité de l'écosystème et de la santé humaine lorsqu'un ensemble d'indicateurs, quels qu'il soit, est produit.

2.2.2 Incidences d'origine humaine sur l'écosystème

Depuis le début du XX[e] siècle, l'importance du rôle joué par la chimie et la physique ne cesse de croître. On trouve dans les premiers travaux descriptifs l'explication du phénomène des gradients de température et des paramètres chimiques de base dans les nappes d'eau. Pour ce qui est des substances toxiques dans l'environnement, on a mis au point des méthodes pour quantifier les concentrations des gaz, des matières particulaires et des composés organiques dans l'atmosphère (par ex. le ministère de l'Énergie et de l'Environnement, 1994) de même qu'un large éventail de composés courants, inorganiques (par ex. le mercure) et organiques (par ex. les produits de combustion) dans le sol et les sédiments. Dans l'eau, les méthodes d'échantillonnage permettent la collecte, à des points distincts dans la colonne d'eau, de substances dissoutes (par ex. les phosphates), de produits chimiques adsorbés par des particules en suspension (par ex. les HAP) de même que l'étude des propriétés fonctionnelles (par ex. la demande biochimique d'oxygène).

Les analyses chimiques de plus en plus sensibles permettent également de mesurer les contaminants dans de nombreux tissus biologiques d'espèces qui composent le réseau trophique (Environnement Canada, Pêches et Océans, Santé Canada, 1991). Au cours des années 1960, on a entrepris des activités de surveillance des pesticides organochlorés et de leurs métabolites dans la graisse de diverses espèces de poissons et d'oiseaux ainsi que dans les aliments consommés par l'homme, dans des échantillons de graisse et dans le lait maternel étant donné l'utilisation locale et le transport aérien du DDT. On a également commencé à accorder de l'importance aux métaux neurotoxiques : le mercure, suite à la découverte du rôle joué par des bactéries libres dans sa transformation en méthylmercure, augmentant ainsi sa biodisponibilité et sa concentration subséquente aux niveaux supérieurs de la chaîne alimentaire, et le plomb, à cause de sa diffusion sur une grande échelle sous forme d'additif à l'essence.

Mises ensemble, ces données sur les supports et sur les espèces ont permis la réalisation de modèles perfectionnés des sources et des mouvements des contaminants dans l'écosystème (par ex. étude de McKay et Patterson, 1992). Pour ce qui est des espèces biologiques examinées dans un cadre toxicologique, elles fournissent la matière première qui permet de déterminer l'exposition aux substances toxiques, y compris des calculs des doses compte tenu des diverses voies de pénétration. Pourtant, après que certains des cas les plus alarmants de contamination ont fait l'objet de mesures d'atténuation (par ex. la charge de phosphate), la tâche qui consiste à établir les relations de cause à effet entre les observations dans les écosystèmes et les activités passées et présentes de l'homme est devenue de plus en plus difficile à cause de la complexité des relations dans les écosystèmes et des facteurs politiques et économiques entrant en jeu.

Impossible de ne pas reconnaître les incidences croissantes de l'activité humaine (voir Goudie, 1994), mais on ne saurait douter non plus de la force de l'esprit d'invention et d'innovation de l'homme. Par conséquent, lorsqu'on étudie les effets de l'activité humaine sur les écosystèmes, on doit non seulement examiner l'écosystème mais aussi l'adaptabilité de l'homme. Un élément essentiel de l'anthropologie écologique (par ex. Geertz, 1963; Vayda et Rappaport, 1976) se fonde sur les idées de Stewart (1955, 1978) concernant les relations causales entre l'organisation sociale et le mode de vie. Il est impossible de dissocier la nature et le rythme des changements environnementaux (souvent la dégradation) de ce mode de vie, y compris les besoins, les désirs, la technologie et les valeurs.

Pourquoi l'activité humaine dans un environnement donné prend-elle telle ou telle forme? Voilà une question essentielle lorsqu'on veut préconiser certains changements dans les activités dans le but d'assurer la «protection» de l'environnement.

En outre, la forme d'activité dépend de la façon dont les gens perçoivent les ressources et de leurs relations avec l'environnement. Il existe plusieurs façons de percevoir ces relations; Kluckhohn (1953) en propose trois :

- les gens sont assujettis à la nature; ils vivent à la merci d'un environnement puissant et dominant;
- les gens sont supérieurs à la nature; ils dominent, exploitent et contrôlent l'environnement;
- les gens font partie intégrante de la nature; ils essaient de vivre en harmonie avec la nature.

Dans la région des Grands Lacs, des tensions se font sentir entre les deuxième et troisième groupes; cependant, il est peut-être plus facile de comprendre l'état actuel du débat concernant l'écosystème si l'on soutient que les tensions sont avivées par la crainte d'être à la merci de l'environnement, notamment pour ce qui est de la santé et du bien-être de l'homme, si le seul contrôle que nous ayons sur notre vie semble se résumer à la satisfaction des besoins relatifs à la salubrité de l'écosystème.

Ces préoccupations sont souvent prises en considération lorsque des scénarios crédibles concernant les conséquences possibles sont produits à l'aide d'un éventail d'outils. De plus en plus, on effectue des évaluations des risques liés à l'environnement et des évaluations des incidences environnementales, dont la réalisation est assujettie dans une plus large mesure aux lois en vigueur, pour une vaste gamme de projets de développement et d'interventions d'origine humaine. Ces outils permettent un examen explicite des compromis entre les résultats axés sur l'homme et les répercussions environnementales. Bien qu'elles prennent souvent la forme d'analyses traditionnelles des coûts et des avantages, dans lesquelles le coût des mesures d'atténuation est comparé aux avantages d'une activité de développement donnée, on préconise maintenant de plus en plus d'autres méthodes qui permettent d'intégrer les intérêts et les valeurs de l'homme aux écosystèmes (*Public Health Coalition*, 1992). L'économie environnementale est un domaine nouveau qui met en question les approches micro-économiques habituelles utilisées pour l'évaluation des projets de développement (Costanza et coll., 1991). Daly (1991), qui compte parmi les utilisateurs de cette méthode, affirme qu'il faut faire des estimations des activités de développement réalisées par l'homme qui sont possibles dans des écosystèmes donnés et imposer des limites quant à l'ampleur maximale de celles-ci, et ce jusqu'à l'échelon mondial.

Si les valeurs sont importantes pour comprendre les effets des activités humaines sur l'environnement, il est peut-être également nécessaire d'examiner l'environnement en tant que valeur par rapport aux autres valeurs et aux domaines vitaux. En règle générale, on n'accorde pas beaucoup de valeur à l'environnement par rapport aux autres domaines, par exemple le revenu familial et le niveau de vie qui sont les aspects les plus appréciés (Eyles, 1985, 1990). Dans le cadre d'une étude au cours de laquelle on a demandé aux gens d'indiquer les caractéristiques dominantes de leur milieu de vie, l'environnement venait après des considérations comme les relations sociales, le bien-être économique, les souvenirs, les racines et même après les réponses «sans opinion» et «rien» (Eyles, 1985). Ces résultats indiquent que les gens ne comprennent pas que toutes les dimensions auxquelles ils accordent une certaine valeur dépendent, en fin de compte, de l'environnement.

Ainsi, l'environnement ou l'écosystème ne met pas nécessairement en cause des domaines vitaux ou des valeurs fondamentales importants. On peut toutefois examiner la question sous un autre angle. Dans quels cas l'environnement nous met-il en cause? Et quelles sont les valeurs exprimées? Nos réponses ne peuvent que se limiter à des suppositions. Premièrement, nous nous sentons mis en cause lorsque nous sommes menacés. Edelstein (1988), dans son ouvrage sur les collectivités contaminées, établit une distinction utile entre le style de vie et le cadre de vie, le premier étant la façon dont les gens vivent et l'autre, nos connaissances fondamentales sur ce à quoi nous pouvons nous attendre du monde qui nous entoure -- notre modèle social. Lorsque le cadre de vie est menacé, les valeurs fondamentales sont menacées. Ces idées ne sont pas encore totalement développées, mais d'après certaines recherches, on y trouverait des éléments comme les menaces à la santé de nos enfants, les valeurs de la propriété, la peur de l'inconnu, les effets différés sur la santé (Eyles et coll., 1993).

Deuxièmement, les valeurs auxquelles renvoient les préoccupations concernant l'environnement ne sont pas clairement organisées dans les recherches empiriques. On a utilisé, dans une certaine mesure, le concept de l'«altruisme» pour expliquer pourquoi les gens ont l'intention de prendre des mesures pour atténuer les problèmes environnementaux (Black et coll., 1985). Comme Stern et coll. (1993, 324) l'expliquent : «L'altruisme laisse supposer que l'adoption d'un comportement favorable à la protection de l'environnement est plus probable lorsque la personne est consciente des répercussions dommageables que peut avoir l'environnement sur les autres et lorsqu'elle se donne comme responsabilité de changer les conditions environnementales dommageables.» C'est là un point de vue parmi d'autres. Mentionnons également, entre autres, «l'éthique de la terre», qui met l'accent sur le bien-être des espèces autres que l'espèce humaine (Heberlein, 1972) ou de la biosphère elle-même, comme le veut l'écologisme radical (Devall et Sessions, 1985). D'autres encore mettent en cause des considérations économiques et socio-biologiques (Hardin, 1968; Olson, 1965). Il semble que l'altruisme soit la valeur fondamentale que les gens sont le plus souvent portés à soutenir lorsqu'il est question d'environnement. Ainsi, les préoccupations relatives à l'écosystème sont liées aux préoccupations à l'égard des autres personnes. D'autres valeurs humaines fondamentales y sont enchâssées, par exemple la communauté, l'équité et la justice. Donc, on s'efforce indirectement de protéger la salubrité de l'écosystème en prenant des mesures, à l'échelle humaine, qui sont axées sur l'humanité. Cependant, l'accent placé sur la salubrité de l'écosystème pour des raisons d'altruisme n'est qu'un point de vue parmi d'autres et c'est un engagement dont la solidité laisse à désirer. L'activité humaine est axée sur l'amélioration, la santé et le bien-être de l'homme. Cependant, ceux qui reconnaissent que ces aspects dépendent de l'environnement se préoccupent habituellement beaucoup des questions et des valeurs environnementales.

Les choix que nous effectuons sont également assujettis aux limites imposées par notre appartenance à l'écosystème. Nous ne pouvons pas choisir le monde que nous voulons, quel qu'il soit. Nous pouvons avoir et nous avons des modèles des répercussions des activités humaines sur les écosystèmes ainsi que des conséquences prévisibles, pour l'homme, des changements que subit l'écosystème, par ex. la désertification des terres arables ou l'érosion due à la déforestation. Nous effectuons un choix touchant aux valeurs humaines lorsque nous essayons de

prolonger l'espérance de vie de l'espèce humaine, autant que possible, ou lorsque nous considérons que le bien de l'homme réside dans la potentialisation maximale du présent -- retirer le plus possible de notre environnement actuel. La question morale n'est pas l'extinction de l'espèce humaine; tôt ou tard, l'espèce disparaîtra. Il s'agit plutôt de déterminer si l'extinction est le résultat des activités humaines ou dépend des forces de la nature; il n'est pas question du nombre de décès prématurés d'êtres humains observés dans le processus d'extinction. La question éthique touche à la durée de vie de l'espèce, soit le nombre de générations d'êtres humains qui jouissent de la terre avant l'extinction de l'espèce.

Lorsqu'il est question de santé humaine, notamment dans ses définitions positives, on met l'accent sur la personne individuelle. La potentialisation maximale des êtres humains vivant aujourd'hui peut donner lieu à l'extinction rapide de l'espèce. Un défaut fondamental du concept de la salubrité de l'écosystème en tant que valeur dont les environnementalistes doivent se faire les champions réside dans le concept même de la santé humaine. Et pourtant, l'homme a conçu des systèmes sociaux qui incorporent les valeurs sociétales tout autant que les valeurs individuelles. Les environnementalistes ont tendance à élargir ces préoccupations sociétales pour y inclure les préoccupations relatives à d'autres espèces. À long terme, le bien-être de l'homme dépend de ces espèces.

Conclusions

- Il faut des indicateurs distincts de la salubrité de l'écosystème et de la santé humaine étant donné que leurs buts et leurs cibles sont différents; dans le premier cas, il s'agit de la stabilité, de la pérennité ou de la résilience de l'écosystème et dans l'autre, il est question de l'état de santé des individus.

- Cependant, il existe un lien entre les indicateurs de la santé des populations humaines (santé publique) et les indicateurs de la salubrité de l'environnement.

2.2.3 Le fardeau des maladies environnementales

Comme nous l'avons mentionné précédemment, il est possible de définir la santé humaine de façon négative et positive. En termes négatifs, on peut dire que la santé équivaut à l'absence d'affection (définie par rapport aux critères objectifs et médicaux applicables aux processus pathologiques) ou à l'absence de maladie (définie suivant l'expérience de la personne). Dans la présente section, nous allons traiter de la preuve selon laquelle la santé en tant qu'absence de maladie est soumise à des effets dus à l'exposition à des agents environnementaux.

La preuve de l'existence d'un effet sur la santé est établie au moyen des études épidémiologiques environnementales existantes. Toutefois, ces études sont limitées à cause des difficultés que pose l'évaluation de l'exposition aux agents toxiques aux niveaux d'exposition ambiante (c'est-à-dire classer avec exactitude les personnes qui sont relativement très exposées et celles qui ne le sont pas). Dans toutes les études épidémiologiques, on examine les différences quant à l'état de santé chez ceux qui sont très exposés et ceux qui sont peu exposés à l'agent en question. S'il n'est pas possible d'établir un gradient d'exposition, les méthodes épidémiologiques sont inutiles, même si les conséquences de l'exposition peuvent être bien réelles et très graves. Imaginons combien il serait difficile d'établir si le cancer du poumon est lié à l'usage du tabac si tous les gens fumaient 20 cigarettes par jour. Même s'il existe un gradient d'exposition, il faut que nous puissions classer correctement les personnes qui sont très exposées et celles qui sont peu exposées afin d'obtenir une certaine mesure raisonnable des expositions. Sinon, si la classification des personnes exposées est incorrecte, les études donneront de faux résultats négatifs. Il est tout à fait possible que certains polluants largement dispersés dans l'environnement ont des effets que nous ne pouvons déceler dans le cadre des études épidémiologiques précisément pour ces raisons.

En outre, les études épidémiologiques exigent que les conséquences — à savoir l'effet sur la santé — soient mesurées avec exactitude. Les préoccupations relatives aux expositions ambiantes sont liées en grande partie aux effets légèrement perceptibles - les influences sur le développement du comportement neurologique, le Q.I., le développement psychosexuel et la fécondité — qui peuvent être importants s'ils se produisent sur une grande échelle dans l'ensemble de la population, même si l'impact ou la carence chez chaque individu n'a que peu d'importance. D'autres conséquences sont très importantes pour l'individu — le cancer, les anomalies congénitales — mais leurs probabilités sont faibles aux niveaux d'exposition ambiante. Du fait que ces conséquences peuvent être attribuables à de nombreux facteurs, il est souvent difficile de déterminer si un facteur environnemental s'ajoute au fardeau de la maladie. Les expositions qui se chevauchent, dont chacune semble avoir pour effet d'accroître le risque d'apparition d'un symptôme particulier, auraient un effet combiné supérieur à la somme des effets individuels. Il faut utiliser des techniques statistiques appropriées pour tenir compte des relations entre les expositions ainsi que des interactions entre les expositions et les caractéristiques personnelles (voir Walters, 1983). Les critères d'évaluation des études épidémiologiques environnementales se trouvent au tableau 1 (Frank et coll., 1988).

Il est également possible d'évaluer les risques pour la salubrité de l'environnement au moyen de protocoles d'évaluation des risques qui utilisent des données sur les risques de cancer et d'anomalie congénitale chez les animaux. Dans certains cas, on peut raisonnablement extrapoler des effets sur la santé observés dans des milieux de travail pour les appliquer aux expositions ambiantes. Plus important encore, les études en épidémiologie du travail confirment souvent que les conséquences sur la santé observées chez les animaux se feront également sentir chez les humains si l'exposition est suffisamment forte. Par exemple, Friberg (1984), lorsqu'il analyse les effets démontrés du cadmium sur le rein, établit des liens entre des données sur la santé chez les animaux et des données sur la santé du travail.

La charge que représentent les maladies environnementales renvoie à la proportion d'affections, notamment les conséquences sur la santé, qui peuvent être attribuables à des expositions ambiantes précises. Si l'on connaît le risque relatif de l'apparition d'un effet chez les individus exposés et si l'on connaît également la prévalence de l'exposition, il est possible de calculer la fraction attribuable. Nous allons limiter notre analyse aux répercussions observées ou possibles chez les populations humaines résidant dans le bassin des Grands Lacs à la suite de l'exposition directe (exposition à l'air extérieur, à l'eau

Tableau 1.
Critères pour l'évaluation des études épidémiologiques établissant des liens entre l'exposition aux substances toxiques dans l'environnement et les effets sur la santé

1. Conception de base de l'étude
(a) Type d'étude (cohortes, cas-témoins, écologique)?
- points forts
- points faibles

2. Évaluation de l'exposition
(a) La nature de l'exposition soupçonnée est-elle connue?
(b) La dose globale est-elle connue?
- temps et durée de l'exposition
- voie d'exposition
- charge corporelle

(c) Existe-t-il un gradient des doses? Quel est le degré d'exactitude des catégories d'exposition?
(d) Des témoins ont-ils été utilisés? Quel est le degré d'exactitude de la classification des individus non exposés (non malades)?

3. Évaluation des conséquences (mesure de l'effet sur la santé)
(a) Dans quelle mesure la conséquence visée correspond bien à l'exposition précise en question?
- Est-ce que d'autres preuves recueillies chez l'homme ou l'animal permettent d'établir des liens entre l'effet sur la santé et l'exposition soupçonnée? Quelle est la solidité de ces preuves?
- Est-ce que l'évaluation des conséquences est effectuée en temps opportun (prise en compte de la période de latence)?
- Est-ce que l'effet sur la santé examiné est considéré à juste titre comme ayant des répercussions délétères sur la santé humaine?

(b) Quel est le degré d'exactitude de l'évaluation des conséquences?
- complétude (peu de faux négatifs)
- exactitude (peu de faux positifs)

(c) Existe-t-il un biais possible dans le cadre de la vérification des conséquences sur la santé des diverses catégories d'exposition et témoins?

4. Vérification des autres facteurs qui influent sur les conséquences étudiées
(a) Est-ce que les catégories des individus exposés - ou les cas, dans le cadre des études cas-témoins - et les témoins sont comparables (sauf en ce qui a trait à l'exposition)?
- nature des populations sous-jacentes
- biais d'échantillonnage

(b) Quelle est l'ampleur probable du problème des variables confusionnelles?
- spécificité des conséquences sur la santé étudiées compte tenu de l'exposition en question

(c) Dans quelle mesure les variables confusionnelles possibles ont-elles été correctement contrôlées?
- pertinence de l'appariement ou de l'ajustement de toutes les variables confusionnelles possibles (âge, sexe, situation socio-économique, ethnicité, autres expositions à des substances toxiques, accès aux soins médicaux, tendances séculaires)

5. Solidité des liens entre l'exposition et la conséquence (risque relatif)
(a) Est-ce que le risque relatif a une importance d'ordre clinique ou pratique?
(b) Est-ce que le risque relatif a une importance d'ordre statistique?
(c) A-t-on établi un gradient évident dose-réaction?
(d) Si aucun risque relatif important sur le plan statistique lié à l'exposition n'a été constaté, était-il possible que l'étude permette, compte tenu des capacités en matière statistique, d'établir un risque d'importance d'ordre pratique, le cas échéant?

6. Évaluation des conclusions finales
(a) Si le résultat est positif, pourrait-il s'agir d'une fausse association positive?
(b) Si le résultat est négatif, pourrait-il s'agir d'une fausse association négative?
(c) Est-ce que le résultat correspond à d'autres études correctement réalisées portant sur la même association et/ou aux connaissances épidémiologiques connexes sur la distribution et la dynamique de la conséquence sur la santé ou de l'état de santé en question?

Source : Frank et coll. (1988, 138) à partir d'expositions à faible niveau dans l'environnement ambiant.

de boisson, utilisation de l'eau à des fins récréatives, exposition au sol) ou indirecte au milieu ambiant (exposition par le biais des aliments). Nous tenons compte dans cette section des produits toxiques dont les effets sur la santé sont bien démontrés, auxquels les gens sont grandement exposés ou qui soulèvent des inquiétudes dans les collectivités dans le bassin des Grands Lacs. La présente section n'est pas un examen exhaustif des preuves relatives à l'un ou l'autre des effets sur la santé énumérés. Elle vise plutôt les secteurs pour lesquels on recommande des recherches additionnelles et la prudence. Nous n'examinons pas les effets sur la santé liés à l'exposition en milieu de travail, à la qualité de l'air à l'intérieur (à l'exception du radon) ni aux désastres écologiques importants. Cependant, les données sur ces sujets peuvent être instructives quant aux risques que peut présenter l'exposition à faible niveau dans le milieu ambiant. Malheureusement, il n'existe que peu d'informations précises sur l'exposition aux produits chimiques toxiques dans le milieu ambiant du bassin des Grands Lacs.

L'exposition à l'ozone et aux matières particulaires (MP-10, c'est-à-dire les matières particulaires de 10 µm ou moins), notamment les particules de sulfate, est répandue dans le bassin des Grands Lacs. Les estimations du risque attribuable lié au rôle joué par la pollution atmosphérique en ce qui concerne les admissions à l'hôpital et les décès dus à des maladies cardio-respiratoires ont progressé considérablement au cours des dix dernières années. On a effectué plusieurs études, y compris une étude réalisée à Détroit, mais on n'a pas pu déterminer l'existence d'un seuil relatif à l'augmentation des décès liés à de petites augmentations des matières particulaires pouvant être inhalées en entier dans les poumons (matières particulaires de 10 µm ou moins, MP-10) (Schwartz, 1991). De même, après avoir soumis des données environnementales sur la pollution atmosphérique et des données sur les admissions à l'hôpital à des analyses chronologiques préliminaires, Burnett et coll. (1994) ont démontré que les augmentations des admissions par rapport au taux d'admission de base étaient attribuables à la pollution atmosphérique, à l'ozone et aux sulfates notamment. En Ontario, on surveille sur une grande échelle les sulfates atmosphériques; cependant, le sulfate peut être un indicateur de l'exposition aux aérosols acides ou aux MP-10; ce n'est pas nécessairement le sulfate comme tel qui cause l'effet. On a observé l'effet en question uniquement pendant les mois chauds, de mai à août. Les bébés d'un an et moins ont été les plus atteints; en effet, 14,8 pour cent des personnes admises à l'hôpital en Ontario pour des malaises respiratoires attribuables à l'exposition à l'ozone ou aux sulfates appartenaient à ce groupe. Cette étude a produit les meilleures estimations du risque attribuable à l'exposition à un produit dans le milieu ambiant du bassin des Grands Lacs. Étant donné leur rôle important sur le plan environnemental, il devrait être possible d'extrapoler ces données pour les appliquer à des secteurs préoccupants en se fondant sur les données de pollution atmosphérique locale recueillies par les autorités des provinces ou des États.

L'exposition à la pollution atmosphérique générale qui suscite le plus d'inquiétude, après celle susmentionnée, est l'exposition à certains composés organiques et aux métaux présents dans l'atmosphère dans les principales grandes villes industrielles du bassin des Grands Lacs. Dans ce cas, les méthodes d'évaluation des risques produisent des estimations des risques de cancer liés à l'exposition pendant toute une vie. Si l'on compare les risques de formes de cancer données pour l'ensemble de la population (jusqu'à 10 pour cent pour certaines formes de cancer), on constate que la proportion attribuable aux toxiques atmosphériques individuels est très petite, soit moins de 1/10 de un pour cent. Compte tenu de la grande population exposée aux risques associés à un certain nombre des composés en question, leur présence dans l'atmosphère constitue un problème de santé publique. Les risques de cancer liés à ces polluants atmosphériques sont traités de façon appropriée dans l'étude sur la qualité de l'air à Windsor (MEEO, 1994) et dans l'examen de la qualité de l'air à l'extérieur dans la ville de Toronto (Campbell, 1993). Dans l'étude faite à Windsor, les agents auxquels on attribue la majeure portion des risques de cancer, soit plus d'un cas sur 100 000 à la suite de l'exposition pendant toute une vie aux polluants atmosphériques extérieurs, sont le benzène, le butadiène-1,3 (gaz d'échappement de voiture) et le chrome (VI). Les risques de cancer attribuables aux émanations de moteur diesel sont bien établis (Carey, 1987) mais on ne connaît pas le risque aux niveaux d'exposition dans le milieu ambiant. Le radon est un gaz produit dans l'environnement naturel qui s'infiltre dans les maisons et les immeubles et qui se concentre dans l'air intérieur. On connaît l'existence d'un très faible risque de cancer du poumon attribuable à l'exposition au radon dans l'air intérieur, mais il est difficile de le démontrer dans les études épidémiologiques (Lubin, 1994). Le radon pourrait poser des problèmes dans la portion du bassin des Grands Lacs située dans le Bouclier canadien, mais ce gaz suscite également des inquiétudes dans les collectivités de la région de Port Hope.

Il existe maintenant une quantité considérable de données toxicologiques et épidémiologiques à cause des enjeux auxquels font face les fabricants de produits chimiques et les personnes exposées aux produits chimiques, notamment en milieu de travail. Higgison (1992) a examiné les études dans lesquelles on attribue une partie des maladies cancéreuses à différents facteurs mais il a signalé des lacunes dans les données sur l'exposition, à cause desquelles des hypothèses considérables sont nécessaires pour produire des estimations, notamment en ce qui a trait à l'exposition dans le milieu physique et ailleurs qu'au travail.

Des groupes de spécialistes, par exemple le groupe mis sur pied par le Centre international de recherche sur le cancer, ont fait des estimations quant à la possibilité de prévenir, en théorie, certaines formes de cancer (Tomatis, 1990). Miller (1992) a réalisé un travail similaire au Canada; il a examiné une série de mesures qui pourraient réduire l'incidence du cancer et il a comparé les données sur la diminution aux cas qu'il est possible de prévenir, en se fondant sur des comparaisons des incidences ici et à l'étranger. Le mélanome causé par le rayonnement ultra-violet se démarque des autres (diminution de 40 pour cent), bien que l'exposition au rayonnement UV-B ne soit qu'un seul facteur lié au risque de mélanome. On peut associer l'amincissement de la couche d'ozone au-dessus du bassin des Grands Lacs aux augmentations des cas de cancer de la peau et de cataracte à long terme, mais ces effets ne sont pas encore documentés. Nous ne connaissons pas la tendance en matière d'exposition personnelle au soleil dans le bassin des Grands Lacs, mais le rôle joué par l'exposition aux rayons ultra-violets du soleil dans les cas de cancer de la peau est bien établi (Groupe de travail de l'Ontario sur la prévention primaire du cancer, 1995).

Les trihalométhanes sont un carcinogène connu chez l'animal; les trihalométhanes sont produits au cours du procédé de chloration de l'eau potable. Le risque accru de cancer de la vessie et du rectum (Morris et coll., 1992) posé par l'eau potable est certain, mais on ne peut considérer que la carcinogénicité de l'eau potable chlorée pour l'humain est prouvée. Les grands avantages du traitement de l'eau par chloration sont bien reconnus en matière d'hygiène publique (voir Bellar et coll., 1974; Morris et coll., 1992); les mêmes auteurs établissent la carcinogénicité des trihalométhanes au moyen d'une approche méta-analytique fondée sur des études cas-témoins. La proportion attribuable à l'eau potable serait très faible, mais il convient de signaler que la majeure partie de la population du bassin des Grands Lacs consomme de l'eau chlorée. Le lien entre l'incidence du cancer et les concentrations de trihalométhanes dans l'eau n'est pas encore démontré, que ce soit dans un État du bassin des Grands Lacs ou en Ontario (Gilman et coll., 1992), en raison notamment des diverses sources d'eau potable exploitées par les populations des Grands Lacs. Néanmoins, il est tout à fait justifié d'explorer plus à fond les risques et les avantages de la chloration et des solutions de remplacement pour la santé humaine.

Le tritium est une substance dangereuse présente dans les secteurs avoisinant les centrales nucléaires au Canada à cause de l'utilisation de l'eau lourde dans les réacteurs CANDU (ACES, 1994). En Ontario, l'**Advisory Committee on Environmental Standards** (ACES) a recommandé d'abaisser immédiatement l'objectif relatif au tritium dans l'eau pour le fixer à 100 becquerels/litre (suite à la recommandation du ministère de l'Environnement et de l'Énergie de l'Ontario, soit réduire l'objectif actuel de 40,000 Bq/l à 7,000 Bq/l) et de le réduire encore pour le fixer à 20 Bq/L d'ici cinq ans. Actuellement, il arrive de temps à autre que les concentrations de tritium dans certaines sources d'approvisionnement en eau potable en Ontario dépassent la norme des 20 Bq/l. Cette recommandation découlait du fait que le tritium est un carcinogène pour l'homme et qu'il faudrait lui appliquer le même niveau de risque acceptable que celui établi pour les autres produits chimiques qui sont des carcinogènes pour l'homme. L'exposition se fait par le biais de l'eau potable mais aussi dans l'atmosphère et dans la chaîne alimentaire.

Les infections gastriques et intestinales dues aux aliments et à l'eau contaminés par des micro-organismes constituent une autre catégorie importante de maladies et les autorités en santé publique attribuent régulièrement ces maladies à l'exposition à diverses substances présentes dans l'environnement (Todd, 1991). La contamination des systèmes d'approvisionnement en eau des municipalités par des protozoaires nouvellement reconnus (par ex. Moorehead et coll., 1990) est responsable des cas de maladies aiguës chez l'homme les plus clairement identifiables et dues à l'utilisation de l'eau des Grands Lacs ou des eaux qui s'y déversent. La ville de Milwaukee (MacKenzie et coll., 1994), qui s'approvisionne dans le lac Michigan, la municipalité de Waterloo, qui s'alimente en eau dans la rivière Grande, tributaire du lac Érié, ont connu des problèmes de contamination par le *Cryptosporidium* qu'il a été difficile de régler. Ces problèmes sont liés aux sources de contamination dans les

bassins hydrographiques que l'on ne peut gérer de façon efficiente et efficace aux usines de traitement de l'eau mais qu'il est préférable de traiter dans le cadre de programmes de gestion des bassins hydrographiques. On observe des cas limités de contamination par *Giardia* (un autre protozoaire) et de maladies virales, par exemple l'hépatite-A, qui sont habituellement causés par les aliments (Todd, 1991). *Giardia* est présent en permanence dans certains puits utilisés pour l'approvisionnement en eau. Les maladies virales transmises par les aliments dans le bassin des Grands Lacs sont presque toujours importées, c'est-à-dire qu'elles sont attribuables à un premier cas observé à l'extérieur du bassin. L'exposition aux eaux contaminées par les égouts pendant la baignade (Fleisher et coll., 1993) cause également des maladies, mais les cas observés dans le bassin des Grands Lacs ne sont pas bien documentés.

Les informations récentes, par exemple les rapports entre l'exposition aux pesticides organochlorés persistants et le cancer du sein (Wolff et coll., 1992), ne sont pas entièrement intégrées aux estimations courantes concernant les risques de cancer en raison, notamment, de la controverse actuelle suscitée par ces conclusions (Ritter, 1994; Kreiger et coll., 1994). On utilise des techniques d'évaluation des risques pour faire des estimations des cas de cancer attribuables à la consommation de poissons contaminés par les organochlorés persistants pêchés dans les Grands Lacs (Foran et coll., 1994). À partir des niveaux de DDT et de dieldrine observés chez le poisson et des taux de consommation, on calcule les augmentations des cas de cancer à diverses concentrations. Pourtant, il est difficile d'établir des liens entre ces données et des secteurs précis, à moins de connaître la distribution de la consommation de poisson; souvent, la qualité et la représentativité de ces données sont variables (Ebert et coll., 1994).

L'effet établi des dioxines sur les modèles animaux et l'effet probable du DDT, des BPC et d'autres organochlorés persistants sur le système immunitaire se font probablement sentir sous la forme d'une modification endocrinienne (voir le chapitre 2.4). L'exposition à la dioxine est attribuable en majeure partie à la chaîne alimentaire parce que le produit est diffusé dans l'atmosphère (Davies, 1988). Nous ne possédons pas d'estimations fiables des risques associés à l'exposition à ce produit.

Le public se préoccupe beaucoup de l'exposition aux pesticides actuellement en usage. On utilise des pesticides d'organophosphate dans des établissements pour détruire des insectes nuisibles, par exemple les blattes. On possède bien des exposés de cas concernant les effets sur la santé liés à l'exposition, mais ces effets, en ce qui concerne la majorité de la population touchée, entrent vraisemblablement dans la catégorie des cas d'hypersensitivité environnementale (voir ci-après). On sait que l'aldicarbe, un pesticide du groupe des carbamates, pourrait endommager la fonction immunitaire (Fiore et coll., 1986). Au Wisconsin, des gens ont été exposés à ce produit par le biais de l'eau de puits. Le **Centre international de recherche sur le cancer** a classé plusieurs herbicides parmi les carcinogènes possibles pour l'homme et le Groupe de travail de l'Ontario sur la prévention primaire du cancer recommande dans son dernier rapport (1995) de fixer des échéanciers raisonnables et mesurables pour l'élimination progressive de ces herbicides. Certains fongicides sont des carcinogènes reconnus chez l'animal et une exposition importante à ces produits est possible par le biais des aliments, par exemple les fraises consommées par les cueilleurs (Mitchell et coll., 1987). L'utilisation de ces fongicides fait maintenant l'objet de restrictions au Canada et aux États-Unis.

On se préoccupe depuis peu des déficits du comportement neurologique résultant de l'exposition *in utero* aux substances toxiques persistantes. On connaît bien maintenant les effets de l'exposition de faible intensité au plomb (Needleman et Bellinger, 1991). On sait, à la suite de désastres environnementaux, que le mercure provoque des déficits du comportement neurologique chez l'enfant; de plus, il est possible d'effectuer la modélisation de la consommation de poisson et de l'ingestion de méthylmercure (Richardson et Currie, 1993). D'après les analyses épidémiologiques, il n'y aurait pas d'effets observés dans le bassin des Grands Lacs. Le rôle que l'exposition à l'aluminium, principalement dans l'eau potable, pourrait jouer dans le développement de la maladie d'Alzheimer a fait l'objet d'études poussées (Nieboer et coll., 1993), et même si les preuves épidémiologiques comportent des lacunes importantes, on ne peut écarter totalement le rôle possible de cet élément en s'appuyant sur d'autres preuves scientifiques. Les bébés dont la mère a consommé du poisson contaminé par les BPC étaient plus petits que les bébés témoins et ils souffraient de déficits du comportement et de problèmes de reconnaissance visuelle (Fein et coll., 1984; Jacobson et coll., 1984; Jacobson et Jacobson, 1988); cependant, ces conclusions suscitent encore des débats. Dans le cadre de plusieurs projets de recherche en cours dans le bassin des Grands Lacs, on tente de régler cette question (ATSDR, 1994). On possède quelques preuves des effets neurotoxiques directs liés à l'exposition aux solvants organiques dans les décharges (par ex. Hertzman et coll., 1987).

La détermination des problèmes de reproduction auxquels on peut s'attendre en raison des niveaux d'exposition supposés chez les populations humaines dans le bassin des Grands Lacs est entravée par les incertitudes soulignées dans le *Septième rapport biennal* de la Commission (CMI, 1994). Les problèmes de reproduction comprennent les anomalies congénitales et les incidences sur la fécondité. Le cadmium, le plomb, le mercure et les solvants chlorés sont toxiques pour le système reproducteur chez l'humain mais à des niveaux considérablement supérieurs à ceux présents dans le milieu ambiant du bassin des Grands Lacs. La controverse entoure le fait que l'on attribue les numérations réduites des spermatozoïdes dans les pays industrialisés à l'exposition croissante aux estrogènes exogènes (provenant de l'extérieur du corps humain), par exemple les monophénols, aux phthalates et aux organochlorés persistants (Carlsen et coll., 1992; Bromwich et coll., 1994). On réalise actuellement des études portant sur les niveaux de contaminants chez un éventail de populations, soit des pêcheurs à la ligne, des groupes minoritaires et autres, dans le bassin des Grands Lacs (ATSDR, 1994) et l'on examine de nouveaux résultats sensibles par rapport à ces niveaux (par ex. temps écoulé avant la grossesse). Certains effets possibles sur la santé, par exemple les changements quant à la fréquence des comportements plus courants chez les garçons ou chez les filles (comportements dimorphes) attribuables aux estrogènes présents dans l'environnement, n'ont pas encore fait l'objet d'études.

Il n'entre pas dans le cadre de cette analyse d'examiner les maladies liées à l'hypersensibilité à l'environnement. De plus en plus, on attribue celles-ci aux milieux physiques (Ashford et Miller, 1991), mais celles-ci sont probablement liées également à des milieux sociaux précis. Divers impacts psycho-sociaux

(stress, anxiété, inquiétude) ne sont pas nécessairement considérés comme des «maladies» mais ils peuvent avoir de l'importance en cas d'exposition à des agents environnementaux (Edelstein, 1988; Taylor et coll., 1993). Des modèles d'interprétation autres que les modèles épidémiologiques traditionnels sont nécessaires pour comprendre les liens entre les «maladies» ressenties en question et les paramètres de l'écosystème. D'autres méthodes d'investigation, basées sur les méthodes qualitatives traditionnelles, sont aussi nécessaires (Eyles et coll., 1993).

Indicateurs de la charge que représentent les maladies environnementales

Il serait utile de déterminer l'ampleur et les tendances des répercussions des facteurs environnementaux sur la santé humaine. L'établissement d'un large éventail de statistiques sur la morbidité et la mortalité est utile pour la planification des services de soin de santé. Cependant, ces données ne permettent pas d'établir la cause de l'effet observé sur la santé. Toutes les conséquences sur la santé sont liées à une multitude de causes ou de facteurs de risque; les agents environnementaux ne sont qu'une cause parmi d'autres qui contribuent à la modification de l'état de santé. On a mis à l'essai plusieurs approches en vue d'isoler le risque attribuable lié à l'environnement (Walters, 1983).

On a pointé des données sur le cancer et les anomalies congénitales dans des atlas (Gilman et coll., 1992; Johnson et coll., 1992; Mills et Semenciw, 1992). On peut réellement établir des modèles géographiques à partir de ces atlas, mais ce ne sont pas seulement les facteurs de risques environnementaux qui varient suivant l'emplacement géographique. Au lieu de considérer que ces atlas expliquent pourquoi le taux élevé de cancers ou d'anomalies congénitales dans un secteur donné est probablement attribuable à des conditions environnementales, nous pouvons habituellement expliquer les variations d'après ce que nous savons déjà au sujet des facteurs de risques relatifs à des effets précis sur la santé. Cependant, les atlas peuvent parfois être utiles pour la formulation d'une hypothèse dont on peut tester la validité par d'autres moyens.

Les cas de cancer sont de mauvais indicateurs des répercussions environnementales parce que la période de latence entre l'exposition et l'apparition de la maladie s'étend habituellement sur plusieurs décennies. Il y a une exception à cette règle générale, à savoir l'utilisation, à titre d'indicateur, de la leucémie infantile qui est considérée comme le résultat de l'exposition à des radionucléides. La période de latence pour certaines leucémies est de deux à dix ans. Des études sur le lien entre la proximité de centrales nucléaires et la leucémie permettent de constater une légère tendance à la hausse (non significative en termes statistiques) du nombre de cas de leucémie (Clarke et coll., 1991).

En Ontario, de trois à quatre pour cent de la totalité des embryons humains présentent des anomalies congénitales (mineures et graves) (Mills et Semenciw, 1992). Dans certains cas, le phénomène est dû à une exposition de fond à des agents tératogènes, y compris le rayonnement naturel et les produits chimiques présents naturellement dans les aliments. Bien que les anomalies congénitales soient relativement fréquentes, elles ne constituent pas de bons indicateurs des effets du rejet d'agents toxiques dans l'environnement dû à des activités humaines. Il existe un large éventail d'anomalies congénitales et l'effet d'un agent précis, quel qu'il soit, se fait sentir seulement à des étapes critiques du développement de l'embryon. Certains types d'anomalies congénitales sont peu fréquents, quel que soit le secteur géographique. L'exposition à une substance donnée dans le milieu ambiant, dans un secteur géographique relativement petit, même dans le cas d'un agent tératogène puissant, ne causerait qu'un petit nombre d'anomalies congénitales précises sur une courte période de quelques années. L'augmentation des cas sera inférieure à la variation fortuite du nombre de cas et, pour cette raison, il n'est pas possible de la déceler au moyen des méthodes épidémiologiques.

Dans certains cas, l'effet d'un polluant sur l'environnement est la principale source de variation au niveau de l'état de santé. Ainsi, on a démontré l'existence d'un lien véritable entre les admissions à l'hôpital pour de l'asthme et des problèmes respiratoires et la présence de polluants particulaires, d'ozone et de sulfates atmosphériques (Burnett et coll., 1994; Dockery et Pope, 1994). En fait, cet effet varie directement suivant les niveaux de pollution atmosphérique, sans que l'existence d'un seuil n'ait été démontrée. Les admissions à l'hôpital d'enfants de moins d'un an illustrent le plus clairement la situation; donc, celles-ci constitueraient un bon indicateur de la charge que représentent les maladies respiratoires. La période d'attente avant l'apparition de l'effet peut aller jusqu'à trois jours. Si l'on compare ce délai à la période de latence pour le cancer du poumon, soit plusieurs décennies, on constate pourquoi les tendances en ce qui a trait au cancer du poumon ne donnent pas une bonne indication des effets liés aux polluants atmosphériques qui, de toute évidence, ajoutent à la charge que représentent les cancers du poumon.

L'exposition accrue aux UV-B dans le bassin des Grands Lacs attribuable à l'amincissement de la couche d'ozone devrait se traduire par une augmentation des cas de cancer de la peau (carcinome spino-cellulaire et carcinome basocellulaire) et de cataractes, mais il est aussi possible que l'effet soit moins fort en raison des mesures prises individuellement pour diminuer l'exposition. Les cancers de la peau et les cataractes ont une longue période de latence; donc, les tendances observées aujourd'hui résultent des changements environnementaux et comportementaux qui se sont produits il y a plusieurs décennies. Les tendances à ce chapitre méritent d'être étudiées mais ce ne sont pas de bons indicateurs de l'état actuel de l'environnement.

En termes pratiques, la réalité est qu'il est rarement possible d'établir le lien entre les expositions de faible intensité aux agents environnementaux et les effets sur la santé par des méthodes épidémiologiques. Les méthodes d'évaluation des risques peuvent donner des estimations assez justes du risque aux niveaux d'exposition dans le milieu ambiant. Cependant, ce n'est pas parce que la science a des limites que les effets sur la santé liés à l'exposition dans le milieu ambiant ne se produisent pas ou ne suscitent pas d'inquiétude (voir le chapitre 2.4). Dans le cas de certaines substances toxiques, le plomb par exemple, on a établi très clairement, à partir d'études épidémiologiques effectuées sous contrôle sévère ou d'évaluations des risques, l'existence réelle ou très probable d'effets sur la santé à la suite de l'exposition dans le milieu ambiant. Dans ces cas, la méthode la plus pratique pour déterminer la tendance quant à la charge que représentent les maladies environnementales consiste à mesurer le changement au niveau de l'exposition et non pas à mesurer l'effet sur la santé.

À cette fin, on effectue régulièrement des examens permettant de déceler la présence de plomb dans le sang. Les incidences sur le comportement neurologique de faibles concentrations de plomb dans le sang ont été établies dans le cadre d'études des cohortes (Needleman et Bellinger, 1991). Des études des populations en vue de déterminer les niveaux de plombémie chez les enfants peuvent alors servir à établir la probabilité de répercussions du plomb sur la salubrité de l'environnement. Il ne serait jamais possible, au moyen d'études des populations effectuées en vue de mesurer le Q.I. des enfants et de mesures des concentrations de plomb dans l'environnement (dans l'atmosphère et dans le sol), de déterminer la charge que représentent les maladies environnementales. La plombémie est un bien meilleur indicateur de la dose réellement reçue que les mesures prises à l'extérieur de l'organisme. Le Q.I. des enfants est influencé par une vaste gamme de facteurs qui, dans le cadre d'une surveillance générale des populations, ne permettraient pas d'établir clairement un effet attribuable au plomb. La surveillance d'autres substances toxiques persistantes (par exemple les BPC dans les tissus humains) serait également utile.

La plombémie n'est qu'un exemple de bioindicateur, une mesure de l'exposition. Les bioindicateurs peuvent aussi mesurer les changements physiologiques résultant de l'exposition. Cependant, les agents environnementaux n'entraînent pas ces changements de façon spécifique; donc, l'application réelle des bioindicateurs des effets dans le cadre d'études dans le bassin des Grands Lacs ne s'est pas révélée utile (Kearney et Cole, communication personnelle).

En résumé, la meilleure façon de surveiller la possibilité d'incidences sur la santé humaine attribuables à l'exposition à des agents environnementaux consiste à surveiller réellement les agents dont la capacité de produire des effets directs est connue. Des études additionnelles sur les toxiques dans les aliments semblables aux travaux réalisés par Davies (1988) sont justifiées. Il convient d'effectuer des études sur la plombémie mais, étant donné l'élimination du plomb dans l'essence, le problème de l'exposition au plomb a perdu de sa gravité dans le bassin des Grands Lacs. On pourrait justifier la création d'une base de données pour la surveillance des organochlorés persistants dans la population, mais cette recommandation pourrait dépendre des résultats des études actuelles financées par l'ATSDR portant sur les BPC et les effets sur le comportement neurologique (que les résultats des études des cohortes de consommateurs de poisson au Michigan soient confirmés ou pas). Il faut effectuer des recherches nouvelles sur les effecteurs endocriniens (voir le chapitre 2.4). Tant que l'on n'aura pas une bien meilleure connaissance des effets de ces produits chimiques, des travaux permettant d'établir une meilleure caractérisation de l'exposition (les BPC totaux dans le sérum étant la mesure la plus économique et la plus représentative) sont justifiés.

En ce qui concerne les effets réels des agents toxiques présents dans l'environnement sur la santé humaine dans le bassin des Grands Lacs, les admissions à l'hôpital des enfants de moins d'un an pour de l'asthme ou des maladies respiratoires constituent, pour le moment, le seul indicateur mesurable de façon précise.

Tableau 2.
Critères de sélection des indicateurs de la salubrité de l'environnement élaborés par le Conseil des gestionnaires de la qualité de l'eau des Grands Lacs

Approprié sur le plan biologique	. . . c'est-à-dire important pour le maintien d'une communauté biologique équilibrée
approprié sur le plan social	. . . de valeur évidente pour les intervenants qui peuvent l'observer, ou permettant de prévoir une mesure qui
sensible	. . . aux agents stressants sans une variabilité naturelle extrême ni une réaction totale ou nulle
applicable sur une grande échelle	. . . à de nombreux agents stressants ou sites
diagnostic	. . . de l'agent stressant précis à l'origine du problème
mesurable	. . . c'est-à-dire pouvant être défini et mesuré sur le plan opérationnel, à l'aide d'une méthode standard, y compris performance documentée et faible marge d'erreur dans les mesures
interprétable	. . . c'est-à-dire capable de faire la distinction entre les conditions acceptables et inacceptables de façon scientifique et juridiquement valable
économique	. . . c'est-à-dire mesures peu coûteuses, fournit le maximum d'information par unité d'effort
capacité de synthèse	. . . capacité de résumer l'information provenant de nombreux indicateurs non mesurés, pour lequel il existe
données chronologiques accessibles	. . . permettant de définir la variabilité nominale, les tendances et les conditions éventuellement acceptables et inacceptables
prévisionnel	. . . c'est-à-dire capable de fournir une indication de la dégradation avant que des dommages importants ne se produisent, alerte rapide
non destructeur	. . . de l'écosystème, qui a la capacité d'assurer
la continuité	. . . de la mesure avec le temps, ayant une
échelle appropriée	. . . convenant au problème de gestion en question. Pour la Commission mixte internationale il existe trois échelles spatiales pertinentes : le secteur d'intérêt, la gestion des lacs de l'écosystème du bassin et de nombreuses échelles temporelles appropriées
ne chevauche pas d'autres indicateurs mesurés	. . . c'est-à-dire qui fournit des informations uniques
en temps opportun	. . . c'est-à-dire qui fournit de l'information suffisamment rapidement pour la prise de mesures de gestion efficaces avant que des dommages inacceptables ne soient causés

2.2.4 Critères de sélection des indicateurs

Diverses tentatives ont été faites en vue de dresser des listes des critères applicables aux indicateurs, tout en tenant compte du fait qu'aucun indicateur ne peut vraisemblablement répondre à tous les critères. Le Conseil des gestionnaires de la qualité de l'eau des Grands Lacs a formulé 16 critères relatifs aux indicateurs de la salubrité de l'écosystème (CMI, 1991, voir le tableau 2). Dans le rapport intitulé *Bioindicators as a Measure of Success for Virtual Elimination of Persistent Toxic Substances* (1994) présenté au Groupe de travail de la CMI sur l'élimination virtuelle, quatre critères sont proposés : la spécificité par rapport aux substances, l'emplacement dans des échelles appropriées, la facilité et le coût des mesures, et la pertinence sur le plan social ainsi que la perception du public. C'est une courte liste pleine de sens. Eyles et Cole (1995), dans leur monographie, utilisent une approche simplifiée mais davantage générale en ce qui concerne les critères relatifs aux indicateurs applicables aux écosystèmes et à la santé humaine. Ils proposent deux ensembles de critères concernant les indicateurs : l'un est fondé sur l'aspect scientifique, l'autre, sur l'utilisation, tout en signalant que tous les indicateurs sont axés sur les buts et que le choix des indicateurs appropriés dépend de l'énoncé précis du problème à évaluer et à gérer. Les critères qui s'appuient sur l'aspect scientifique sont les suivants :

- **Disponibilité et opportunité des données.** C'est vraisemblablement à cause des restrictions financières qu'il faut utiliser, dans la mesure du possible, les ensembles de données existants; toutefois, il ne faut pas oublier que ces données ont pu être rassemblées à des fins autres que les besoins actuels.

- **Validité et fiabilité.** Pour être valide, l'indicateur doit mesurer le phénomène ou les concepts pour lesquels il a été conçu. Il existe quatre formes de validité :

  - la validité apparente (après évaluation du bien-fondé du choix de l'indicateur, est-ce une mesure raisonnable?)
  - la validité conceptuelle (est-ce que la mesure se comporte comme prévu par rapport aux autres variables du modèle scientifique dans le cadre duquel on l'utilise?)
  - la validité prévisionnelle (est-ce que la mesure permet de prévoir correctement une situation qui serait causée par le phénomène actuellement mesuré?)
  - la validité concourante (est-ce que plusieurs mesures rassemblées ou organisées de différentes façons évoluent toutes de façon similaire avec le temps?)

La fiabilité dépend de la place occupée par la variance d'erreur dans une mesure de l'indicateur et elle est déterminée au moyen de mesures répétées du même indicateur.

- **Représentativité de l'indicateur.** Il est facile de reconnaître les questions touchant à la représentativité des données puisqu'elles s'appuient sur des méthodes d'échantillonnage et sur des caractéristiques dimensionnelles et démographiques. La représentativité de l'indicateur pose davantage de difficultés. Est-il possible de choisir un ou plusieurs indicateurs qui couvrent les dimensions importantes à l'étude? On peut améliorer la représentativité des indicateurs à l'aide d'un indice réunissant plusieurs indicateurs. Cependant, même s'il est possible de surmonter les problèmes posés par la combinaison des indicateurs, si l'indice monte ou descend, on ne sait toujours pas lequel des indicateurs constituants monte ou descend.

- **Comparabilité des indicateurs.** Il faut non seulement disposer de données sur plusieurs périodes, mais il faut aussi que celles-ci signifient à peu près la même chose aux différentes époques. La sensibilité des méthodes de mesure ou la nature de la population à l'étude peuvent changer.

- **Indicateurs décomposables.** Pour être informatifs, les indicateurs doivent être liés à d'autres variables, par exemple l'âge, le sexe, l'emplacement et diverses caractéristiques des particuliers ou des collectivités concernés. S'il est possible de décomposer un indicateur en plusieurs variables, celui-ci fournit davantage d'information, dans la mesure où les chiffres ne deviennent pas trop petits.

Les critères pour le choix des indicateurs fondés sur l'utilisation sont formulés comme suit :

- **Axé sur le but.** La définition des rapports entre l'indicateur et le but (objet, utilisation, état) qu'il doit surveiller doit être énoncée aussi clairement que possible.

- **Faisabilité.** Les données ont-elles déjà été recueillies? Dans l'affirmative, existent-elles pour les périodes voulues et à l'échelle géographique souhaitée? Dans la négative, dans quelle mesure est-il possible de créer des indicateurs de remplacement ou des indicateurs indirects du phénomène à l'étude? Dans un tel cas, qu'arrive-t-il de la validité scientifique? Si les données n'ont pas déjà été rassemblées, combien coûterait la modification du système de collecte de l'information?

- **Utilité.** Est-ce que les indicateurs fournissent de l'information sur l'état de l'écosystème ou sur la salubrité d'une façon que les intéressés considèrent comme importante? Les indicateurs permettent-ils aux résidents d'une région donnée ou aux membres d'un groupe de population précis d'évaluer leurs besoins et leurs risques? Est-ce que les indicateurs leur permettent d'effectuer des comparaisons significatives avec des groupes de résidents ou des membres de populations similaires? Une caractéristique de l'utilité est, en fait, la crédibilité (une version usager de la validité).

- **Inviolabilité.** S'il doit exister un lien entre les perceptions du public et les indicateurs, alors nous devons faire en sorte d'assurer leur inviolabilité, c'est-à-dire qu'ils ne peuvent être «manipulés» ou modifiés par ceux qui auraient intérêt (aux dépens des autres) à ce que l'indicateur soit forcé dans une certaine direction à un rythme précis. Par exemple, si les ressources affectées à l'amélioration de la qualité de l'eau dépendent de la présence d'une concentration donné de micro-organismes, il peut être avantageux pour une municipalité de reporter les travaux d'amélioration jusqu'à ce que les affectations budgétaires soient effectuées.

- **Maniabilité.** La capacité des êtres humains de traiter l'information est limitée. Par conséquent, le nombre d'indicateurs à utiliser devrait être aussi petit que possible.

- **Équilibre.** Il devrait exister un certain équilibre parmi tous les phénomènes d'intérêt.

- **Catalyseur.** Nous pouvons décider de faire la distinction entre les indicateurs qui jouent plus ou moins le rôle de catalyseur, que ce soit dans l'industrie, au gouvernement, dans les collectivités ou chez les particuliers. Ce critère est également important étant donné qu'il établit des liens solides entre les indicateurs et les buts de la surveillance.

Ces critères servent à évaluer la pertinence des indicateurs comme tels et à effectuer le choix des indicateurs précis. Ils permettent à ceux qui s'intéressent à la surveillance des écosystèmes et à la santé humaine dans le bassin des Grands Lacs de tenir compte des preuves (en premier lieu, mais pas exclusivement les critères qui s'appuient sur l'aspect scientifique) et d'agir avec prudence (en premier lieu, mais pas exclusivement les critères fondés sur l'utilisation).

2.2.5 Sommaire

Il faut constamment se poser la question suivante : quels sont les liens entre la santé humaine et les questions particulières concernant l'écosystème à l'étude? Quelle «preuve» (scientifique ou philosophique) étaye les rapports entre la santé humaine et la salubrité de l'environnement? Comment pourrions-nous juger de l'importance d'un lien établi, quel qu'il soit? Lorsque nous répondons à ces questions par l'établissement d'indicateurs plausibles, nous ne devons jamais oublier le fondement normatif ni les capacités de la science.

Nous devons reconnaître, dans le cadre des efforts déployés pour «mesurer» la salubrité de l'écosystème et la santé humaine qui en fait partie intégrante, que les termes «écosystème», «salubrité», «santé» et autres termes similaires sont des notions abstraites ayant des répercussions non seulement sur ce que ce nous mesurons mais aussi sur la façon dont nous le faisons. Des notions qui deviennent importantes, qui ont du retentissement, qui prennent une signification métaphorique, d'où la nécessité d'expliquer les valeurs en jeu. Nous devons également reconnaître que l'adoption d'une attitude prudente ou précautionneuse vis-à-vis des effets démontrés sur la santé doit se faire de manière à laisser place aux preuves scientifiques. Lorsque nous utilisons par métaphore l'expression «santé de l'écosystème», nous devons faire preuve de prudence à l'égard de la perspective connexionniste du monde comprise dans cette métaphore. L'approche connexionniste en réseau vis-à-vis de la santé humaine par rapport à l'écosystème est utile puisqu'elle fournit un cadre -- une reconnaissance globale qui attire l'attention sur les compromis possibles, les effets secondaires, les conséquences involontaires possibles et les événements imprévus. Elle ne devrait toutefois pas restreindre pour autant notre capacité à agir dans le cadre de sous-systèmes ou au sein de sous-populations. Pour cette raison, nous devons lutter contre la force de la métaphore.

Bien qu'il soit difficile d'attribuer une proportion précise de la charge globale que représentent les maladies à la dégradation de l'environnement ou de l'écosystème, il faut considérer la santé humaine comme un élément essentiel du modèle de la salubrité de l'écosystème. La notion de salubrité de l'écosystème intériorise le bien-être de la personne pour en faire une composante de l'environnement, tandis que la notion de la santé humaine intériorise l'environnement qui est utilisé pour le bien-être de la personne ou de la collectivité. La force de la métaphore ou du modèle est évidente. Suivant la notion de la salubrité de l'écosystème, les humains font partie intégrante de la nature. Les métaphores font retentir avec force les valeurs essentielles concernant notre personne, notre identité et notre place dans le monde.

2.2.6 Recommandations

- **Le Conseil consultatif scientifique recommande que la Commission, dans le cadre de ses activités prioritaires et des conseils donnés aux parties, appuie d'autres recherches pour la détermination des niveaux d'exposition aux produits chimiques toxiques dans l'environnement du bassin des Grands Lacs et intègre les principaux généraux suivants pour la détermination d'autres indicateurs de la charge que représentent les maladies environnementales :**

  - la surveillance continue des toxiques dans les milieux, y compris les trihalométhanes, les nitrates, les contaminants microbiens dans l'eau potable, les MP-10, l'ozone et les sulfates dans l'atmosphère ainsi que les produits chimiques toxiques bioaccumulables en général

  - la synthèse systématique des résultats des échantillonnages d'eau pour la recherche des contaminants microbiens qui conduisent à la fermeture des plages. Envisager la possibilité d'ajouter à ces données des informations sur les symptômes observés chez les usagers des plages.

  - l'inclusion de facteurs pertinents relatifs à l'exposition dans le milieu ambiant (par ex. le temps passé à l'extérieur, la prise en compte des activités) et de facteurs liés à la consommation (par ex. la faune et le poisson d'eau douce) dans les études représentatives sur la santé. On pourrait lier les mesures générales représentatives de contaminants clés dans les liquides corporels (par ex. les BPC ou le DDE, pour les organochlorés, dans le sérum et le lait maternel, le mercure et le plomb, pour les métaux, dans le sang entier) avec ces facteurs et d'autres facteurs sociaux pertinents.

  - la surveillance des conséquences établies liées à la salubrité de l'environnement, par exemple l'asthme, de façon à ce que ces conditions puissent être considérées comme des sentinelles qui avertissent des effets de la pollution

  - la reconnaissance du fait que certains indicateurs de la maladie chez l'homme conviennent mal à la fourniture d'informations utiles sur les répercussions de questions environnementales sur la santé humaine, par ex. la plupart des données sur la morbidité et la mortalité qui sont habituellement recueillies, y compris les pourcentages des cas de cancer

  - l'élaboration de structures longitudinales relatives à l'exposition et aux conditions d'intérêt pour formuler des conclusions plus fermes quant aux relations entre l'exposition et les conséquences sur la santé

En outre, il est recommandé que la Commission :

- **appuie les mesures qui permettraient de réduire l'exposition des personnes aux substances toxiques persistantes, par exemple les BPC, et de diminuer les concentrations de ces substances dans les tissus humains**

- **appuie l'élaboration d'indicateurs et d'échelles qui mesurent le niveau de salubrité environnementale ainsi que d'indices du stress et de l'état de l'environnement**

- **continue de surveiller la production de rapports sur l'état de l'environnement et le développement durable dans le but de fournir de l'information, dans ses recommandations à l'intention des parties, concernant les indicateurs dans le bassin des Grands Lacs. Étant donné que ces rapports utilisent souvent une approche à grande échelle pour le choix des indicateurs, cette surveillance est nécessaire pour aider à assurer la prise en compte des considérations touchant à l'exposition des êtres humains dans le cadre des évaluations de la contamination des espèces cibles de poisson et de faune.**

2.3 LE FARDEAU DE LA PREUVE : PRENDRE DES DÉCISIONS DANS L'INCERTITUDE

À force de s'aventurer sur la scène publique, les scientifiques nous prouvent, sans doute malgré eux, qu'ils ne sont pas plus brillants que les autres, en matière de décisions d'intérêt public, malgré le stock de connaissances spécialisées dont ils disposent.

David Sarokin, Washington (D.C.) - Courrier du lecteur de *Science*, vol. 261, 10 septembre 1993, au sujet de l'éditorial intitulé *Pathological growth of regulations*.

2.3.1 Introduction

Le Sixième rapport biennal sur la qualité de l'eau dans les Grands Lacs de la **Commission mixte internationale** (CMI), de 1992, proposait, dans sa première recommandation, que «les Parties adoptent et appliquent l'approche de la valeur probante aux fins de l'identification et de l'élimination virtuelle des substances toxiques rémanentes». Dans ce contexte, la valeur probante ou fardeau de la preuve vise la prise en compte globale des nombreuses études indiquant (ou réfutant) des dommages ou la probabilité de dommages; de là, il est possible d'établir si la preuve permet de fonder des conclusions et des décisions stratégiques. La Commission a poursuivi la réflexion sur cette proposition dans son Septième rapport biennal, de 1994, dans lequel elle propose une définition «pragmatique» puisée dans les sciences et le droit. Cette définition indiquait qu'il fallait tenir compte du poids cumulatif des nombreuses études sur l'endommagement ou la probabilité d'endommagement d'organismes vivants. On soulignait notamment que cette démarche procède à la fois de la science officielle, de la logique et du bon sens. Cependant, beaucoup de points d'interrogation demeuraient, surtout au sujet de la méthode et des définitions. Lors d'un atelier au cours de la réunion biennale de 1993, les membres de la Commission se sont engagés à trouver en priorité, pendant le cycle de 1993 à 1995, une façon de répondre à ces questions. Le présent rapport fait suite à cet engagement.

Une expérience de vingt ans avec les multiples risques posés par des substances toxiques persistantes et bioaccumulables dans le bassin des Grands Lacs met en lumière la nécessité d'une démarche systématique pour l'évaluation des effets sur la santé et l'écologie que l'on croit liés à l'exposition à ces substances. Les décisions concernant des mesures destinées à éviter ou à atténuer les effets doivent être fondées sur des méthodes explicites pour faire face à la grande incertitude souvent présente. Parfois, le rapport de cause à effets est montré clairement par des études épidémiologiques avancées sur la santé des personnes. On peut analyser ces études au moyen de critères épidémiologiques existants ou nouveaux permettant d'évaluer la qualité des preuves corroborant le rapport de causalité, à la manière des critères proposés pour la première fois par Sir Austin Bradford Hill, il y a une trentaine d'années. Généralement, ces études évaluent l'ampleur du lien entre l'exposition mesurée à un contaminant et un résultat donné et soigneusement mesuré, sur la santé de personnes ou l'état d'une ressource naturelle. Un exemple nous est donné par la preuve que, dans le bassin des Grands Lacs, la famille des organochlorés (BPC) a des effets induits sur la faune. Dans ce cas, les dommages à la faune ont été observés en premier lieu puis sont venus les efforts destinés à identifier les agents environnementaux liés à ces dommages et les mesures d'atténuation appropriées.

Dans le cas des Grands Lacs, il a fallu tenir compte de menaces à la diversité biologique provenant de facteurs non liés aux toxiques classiques, ce qui a nécessité une démarche plus systématique et prédictive. Tous les risques comportent des caractéristiques inquiétantes, même si nous ne les comprenons pas toutes. Beaucoup de toxiques peuvent engendrer des effets complexes en cascade dans l'écosystème des Grands Lacs, lesquels peuvent avoir des résultats imprévisibles, mais potentiellement graves, après une longue période de latence. Les effets peuvent se produire assez rapidement, aux niveaux moléculaire ou cellulaire, par ex., dans le cas des hormones de synthèse, et nous ne sommes pas encore en mesure d'évaluer les conséquences sociales de ces effets. La plupart du temps, par le passé, nous avons attendu de longues années que l'échec de la reproduction soit répandu chez des espèces importantes de la chaîne alimentaire, un moment où l'intervention a beaucoup moins de chances de réussir. Il est évidemment préférable de chercher à déceler et à enrayer les effets le plus tôt possible; malheureusement, c'est au début que l'on nage dans la plus grande incertitude. Dans de tels cas, nous disposons seulement de preuves non épidémiologiques (par ex., des études en laboratoire ou des résultats de modèles) pour évaluer les dommages possibles aux personnes, aux animaux ou aux plantes). Or, si les effets à long terme sur l'écologie et la santé des personnes sont sous-estimés et que rien n'est fait pour limiter ou retirer les substances responsables, on s'expose à des risques encore plus grands.

Pour élaborer des critères appropriés, un sous-groupe du groupe de travail sur la salubrité des écosystèmes a été formé en 1993 et chargé de tenir l'engagement prioritaire pris par la Commission, en ce qui concerne le fardeau de la preuve. Cette expression désigne la prise en compte de tous les indices scientifiques sur lesquels sont fondées les décisions destinées à limiter les risques posés par les toxiques. Pendant les réunions tenues en 1994, le groupe d'étude a établi que l'expression «fardeau de la preuve» porte à confusion parce qu'elle rappelle trop le principe utilisé en droit pour la responsabilité de la preuve (fardeau de la preuve), ce qui n'a rien à voir avec notre propos. C'est pourquoi le sous-groupe, fort de l'appui du groupe de travail sur la salubrité des écosystèmes, a adopté le sous-titre «Prendre des décisions dans l'incertitude».

Objectifs

Compte tenu de ce qui précède, les objectifs suivants sont posés.

- Faire l'examen critique des méthodes en usage pour évaluer la preuve de dommages potentiels aux personnes ou aux animaux par des substances supposées toxiques ou d'autres interventions environnementales, comme premier pas vers la prise de décisions.

- Établir les caractéristiques des dommages à l'environnement ou aux personnes, causés par des substances supposées toxiques ou d'autres dangers requérant la mise en oeuvre de mécanismes de décision généraux et protecteurs.

- Recommander, sur la foi de cet examen, des méthodes appropriées pour évaluer les risques environnementaux actuels et futurs pour les Grands Lacs, dans un premier temps, afin de les limiter ou de les supprimer.

2.3.2 Trois méthodes

Trois grandes méthodes ont été élaborées et chacune systématise la collecte et l'utilisation d'informations scientifiques et aide les décideurs à utiliser et à interpréter à bon escient ces informations. Ces trois méthodes sont

- la supposition de causalité;
- l'évaluation des risques;
- les rapports d'experts interdisciplinaires en comités ou de commissions d'étude.

À titre de comparaison, nous examinons les points forts et les faiblesses de chaque méthode appliquée à la protection de la qualité de l'eau dans les Grands Lacs; en particulier, on cherche à établir à quel point une conclusion peut être tirée catégoriquement et à quantifier l'incertitude. Les parties qui suivent illustrent trois contextes où les informations sont examinées et incorporées aux décisions. Cette démarche est habituellement qualifiée de gestion des risques.

Supposition de la causalité

Les étapes à franchir pour conclure à la causalité sont connues et comprises depuis l'élaboration des postulats de Koch, il y a un siècle, sur le lien de cause à effet entre les microbes et les maladies infectieuses. Plus près de nous (1965), Hill a élaboré des critères applicables à une large catégorie d'études sur la santé. Ces critères peuvent être utilisés par des scientifiques non seulement pour identifier des liens de causalité, mais souvent aussi pour décrire de manière mathématique un rapport entre la dose ou l'exposition et les réactions.

Les principes de base des critères de Hill sur la causalité ont été élaborés pour l'épidémiologie humaine. Ils exigent qu'une association entre un danger et un effet présente la majorité ou la totalité des caractéristiques suivantes.

Force de l'association - Le taux de maladie ou d'autres effets sur la santé dans le groupe d'organismes exposés doit être plus élevé, d'une manière statistiquement significative[1], que dans un groupe témoin non exposé (comportant de préférence les mêmes caractéristiques quant à l'âge, au sexe, à l'année civile, etc.). La force réelle de l'association entre l'exposition au danger et le résultat sur la santé est mesurée par le **risque relatif** (RR), c'est-à-dire l'augmentation proportionnelle du risque d'occurrence du résultat en question, dans le groupe exposé, par rapport au groupe non exposé. Les associations «fortes» ont des RR de quatre, cinq ou plus et comportent presque invariablement des liens de cause à effet; les associations «moyennes» (RR = 2 à 4) et surtout les associations «faibles» (RR = 1 ou 2) sont souvent attribuables à une identification erronée du groupe exposé ou à une association non causale due à d'autres facteurs confusionnels.

Régularité de l'association - La même association exposition-maladie est constatée dans des études sur d'autres populations de la même espèce, séparées par l'espace, le temps et les circonstances. Autrement dit, l'association observée peut être reproduite.

Spécificité de l'association - L'unicité de l'effet de l'exposition sur la santé est telle qu'elle renforce la thèse de la causalité. Par exemple, la maladie de Minimata est invariablement liée à un empoisonnement au mercure. Toutefois, en présence de facteurs environnementaux et d'autres agents répandus, la spécificité est souvent ardue, voire impossible à démontrer, étant donné qu'un nombre si restreint d'effets sur la santé sont causés par une seule exposition à des conditions dangereuses. Donc, la spécificité est bien utile, quand on peut la prouver, mais on compte rarement sur sa présence.

Association temporelle - L'exposition au danger doit précéder la maladie ou l'effet sur la santé. On sait toutefois que les périodes de latence pour la carcinogenèse (notamment chez les fumeurs) et pour d'autres séquences exposition-effet peuvent durer des décennies.

Rapport entre la dose (le risque) et l'effet - Des augmentations de l'exposition devraient entraîner des augmentations proportionnelles de l'incidence ou du risque de la maladie. Dans les études épidémiologiques environnementales, ce rapport est souvent déterminant pour conclure à la causalité. Ce critère peut être modifié dans certaines circonstances par des causes de décès opposées, des réactions biologiques «tout ou rien» impossibles à répéter et des phénomènes liés à la résonance, par ex., le rayonnement électromagnétique, où le rapport dose-effet peut varier en fonction de la fréquence et de l'intensité du champ. Dans le cas des études environnementales, il est souvent possible de n'établir qu'un ordre de grandeur pour la dose (plus ou moins forte); on peut rarement quantifier précisément les variations. À noter, au passage, qu'on utilise l'expression lien avec l'effet, dans le domaine qui nous intéresse, d'une manière analogue mais non identique à l'usage qui en est fait dans le domaine de la toxicologie et de la pharmacologie, où l'effet n'est pas une mesure du *risque* pour une population entière mais bien un phénomène biologique se déroulant à l'intérieur d'un organisme.

1 Le niveau de signification mesure ce qu'on appelle l'erreur de type I ou la probabilité de ne pas rejeter un écart observé alors qu'il est attribuable uniquement au hasard. Une notion complémentaire est l'erreur de type II, qui détermine la probabilité de rejeter un écart observé, parce qu'on le considère faux, alors qu'il est réel. Lorsque le niveau de signification utilisé pour vérifier un écart observé devient plus élevé, la capacité du test de déceler un écart véritable diminue. Le pouvoir d'un test statistique importe énormément lorsque des résultats négatifs - pas d'effet observé - sont observés. La conception de l'étude et la taille de l'échantillon déterminent d'avance la probabilité d'un faux résultat négatif.

Plausibilité biologique de l'association - Le mécanisme de la maladie devrait pouvoir être observé dans des modèles animaux, grâce aux méthodes des disciplines de laboratoire (et notamment la pathologie et la microbiologie). Malheureusement, il n'existe pas de modèles de laboratoire pour certaines maladies de l'homme, des animaux et des plantes. Il devrait toutefois exister un mécanisme biologique plausible permettant l'accomplissement de la séquence exposition-effet.

Cohérence du rapport - Ce critère suppose généralement que l'effet du risque ou de l'exposition doit être compatible avec la répartition connue du risque et du résultat sur la santé, dans l'espace et le temps. Ainsi, la leucémie limphocytique aiguë infantile ne pourrait pas être causée principalement par des champs électromagnétiques si cet état se présente surtout dans les pays en développement à prédominance rurale, où peu de champs électromagnétiques forts existent. Des études similaires devraient confirmer le rapport et notamment des études dans d'autres sphères des sciences et des sciences biologiques, notamment celles qui indiquent des phénomènes d'exposition-effet similaires chez des animaux ou des plantes en milieu naturel. Ces dernières études sont souvent données en exemple, comme critère additionnel pour conclure à la causalité.

Confirmation expérimentale - Les études en laboratoire sur les animaux peuvent vérifier la cause des liens entre les risques et les maladies chez l'homme. Cette méthode exige toutefois que les modèles animaux appropriés soient utilisés pour tester ces liens. Dans le cas des séquences risque et exposition-effet pour lesquels il n'existe pas de modèle, il est généralement contraire à la morale et impossible d'effectuer des expériences où des humains sont exposés aléatoirement à des risques possibles, dans le but de vérifier si les effets supposés se manifestent. Cela explique pourquoi l'épidémiologie environnementale est pratiquement toujours privée de ce critère primordial de Hill, pour prouver la causalité. Pour certains observateurs, la démonstration de «réversibilité» des effets sur la santé, après atténuation des risques, est une preuve «expérimentale» tout aussi valable de la causalité. Or, beaucoup d'effets sur la santé sont pratiquement irréversibles ou demeurent latents pendant de longues périodes après l'exposition au risque, avant de se manifester pleinement; il peut donc être passablement ardu de prouver la «réversibilité», dans bien des cas.

Dans la pratique, en concluant à la causalité, on se donne la structure nécessaire pour fonder des décisions sur l'élimination des effets biophysiques néfastes dans des situations closes, par exemple en milieu de travail. La supposition de la causalité est d'ailleurs largement répandue, dans le domaine de la santé au travail, et son utilisation est nécessaire pour l'analyse des situations moins bien délimitées, dans un milieu ou un écosystème.

Les informations scientifiques issues d'études sur des personnes en milieu de travail constituent un moyen de comprendre l'incidence plus large d'agents nuisibles sur l'environnement (air, eau, sol ou chaîne alimentaire) ou le biote (plantes et animaux), qui ensemble forment l'écosystème. Toutefois, il s'est révélé que les seules études sur la santé des personnes ne permettent pas de protéger des écosystèmes fixes, pour l'une ou plusieurs de ces raisons :

- certaines voies d'exposition non humaine n'existent pas pour les humains;
- certaines voies d'exposition humaine n'existent pas pour les plantes et les animaux, car les personnes sont exposées à une foule de produits commerciaux à action biologique;
- les produits chimiques sont susceptibles d'être plus toxiques chez certains organismes non humains, simplement en raison des particularités spécifiques et notamment de la sensibilité, de la physiologie, de la biochimie ou du mode de vie;
- les mécanismes d'action, au niveau de l'écosystème, pourraient ne pas avoir de pendant chez les humains;
- toute pollution environnementale est susceptible d'entraîner une exposition beaucoup plus élevée pour certaines espèces que pour les personnes humaines, ces dernières ayant accès à des conditions particulières (air climatisé, nourriture et eau importées) leur garantissant une certaine protection contre les risques environnementaux locaux;
- comme la plupart des oiseaux et des mammifères ont un rythme métabolique beaucoup plus élevé que les humains, ils peuvent recevoir des expositions ou des doses unitaires plus fortes que dans le cas des humains, pour un risque donné;
- certains produits chimiques libérés dans l'environnement sont conçus pour tuer des organismes non humains (des ravageurs), mais ils demeurent quand même toxiques pour d'autres espèces non visées;
- les organismes non humains étant intimement liés à leur milieu, ils peuvent éprouver de graves effets secondaires comme la perte de nourriture ou la disparition de leur habitat.

Comme dans le cas de la maladie chez l'être humain, il n'est pas toujours facile de distinguer les changements écologiques naturels des changements susceptibles d'être attribués à l'action de l'homme. Un résultat biologique clairement défini, couplé à un ou à plusieurs facteurs environnementaux, peut donner de fortes probabilités de causalité, sans toutefois la prouver catégoriquement. Donc, pour définir la causalité en épidémiologie écologique, il importe d'effectuer des recherches épidémiologiques rigoureuses et d'acquérir des données scientifiques à l'appui, dans des domaines connexes.

Pour terminer, la supposition de la causalité est une méthode destinée à synthétiser la recherche épidémiologique sur les populations humaines, animales et végétales et les connaissances biochimiques, physiologiques et microbiologiques sur les mécanismes qui entrent en jeu. La grande vertu de cette méthode est donc de fusionner deux catégories de preuves empiriques : la synthèse de différentes sortes de preuves issues de la science fondamentale et des conclusions d'études épidémiologiques bien conçues. Cette méthode représente une élaboration scientifique soigneuse de connaissances laissant peu de place à l'incertitude, **mais seulement dans les cas où une population assez importante d'organismes a été exposée de manière mesurable à un danger défini et présente un nombre donné de cas de maladie permettant d'établir un risque relatif significatif, du point de vue statistique, par comparaison à des populations témoins non exposées.** Malheureusement, toutes ces conditions ne s'appliquent pas dans bon nombre d'effets sur la santé attribuables à des risques environnementaux. Et même lorsque ces conditions s'appliquent et que l'on utilise les critères de Hill, le seul fait d'être arrivé à ce point où on ne fait que «dénombrer les victimes» prouve que l'on a trop attendu et que les dangers environnementaux ont fait trop de dégâts.

Limites de cette méthode - Idéalement, la méthode de la supposition de causalité s'applique à une exposition unique, bien définie et mesurée à un danger, comme le plomb ou le méthylmercure, et à un effet biologique unique, par ex., la neurotoxicité ou la maladie de Minimata. Dans de tels cas, l'opération commence par une hypothèse nulle, c'est-à-dire que le danger ne cause pas d'effet biologique; ensuite, on vérifie cette hypothèse en la comparant à des observations fondées sur une méthodologie statistique reconnue, dans le cadre d'études épidémiologiques de différents types, par ex., des études cas-témoins ou des études de cohortes.

Les objectifs de la recherche et la conception de l'expérience étant des questions de choix, la causalité supposée est habituellement jugée objective. On considère également que cette méthode a une applicabilité limitée. Ainsi, elle ne comporte habituellement pas d'étude sur les activités d'atténuation ni sur les conséquences socio-économiques de ces activités. Toutefois, lorsqu'on dispose d'un ensemble complet d'études épidémiologiques et d'informations scientifiques de base applicables dans le cas d'une exposition supposée à un danger environnemental et d'effets observés sur la santé, le critère de Hill est d'une utilité incalculable pour l'évaluation objective de ces informations. Malheureusement, des preuves aussi nettes sont rarement disponibles dans le cas de dangers environnementaux, comme nous l'avons déjà vu.

La plupart du temps, les études épidémiologiques visant à prouver un lien de cause à effet ne sont pas probantes ou débouchent sur des résultats négatifs, c'est-à-dire qu'elles concluent à l'inexistence d'effets néfastes. Ces résultats sont souvent attribuables à la conception des tests, à l'obligation d'avoir de grands échantillons, au fait que les tests ne portent que sur un résultat, par ex., la mort par le cancer, ou aux effets d'interactions toxiques multiples. La personne ou l'écosystème subit toutes les expositions néfastes et le mauvais état de santé observé n'est pas nécessairement attribuable à l'une ou à l'autre des expositions, prises isolément. La science de la supposition, qui s'applique idéalement aux effets individuels, ne peut relever les défis posés par des dangers multiples, par ex., les produits chimiques toxiques présents dans le bassin des Grands Lacs.

Finalement, sous l'angle de l'approche décisionnelle, l'emploi des critères de Hill exige une grande quantité de données et des produits scientifiques obtenus au terme d'études de longue haleine (souvent des décennies). C'est pourquoi les critères de Hill sont habituellement applicables à l'analyse rétrospective mais conviennent moins bien à l'examen de nouveaux problèmes ou à d'autres situations exigeant des décisions prospectives.

Évaluation des risques

La science de l'évaluation des risques permet, quand cela est possible et approprié, de reconnaître et de quantifier les dangers, les rapports dose-effets (ou exposition-effets) et l'exposition, ce qui permet de caractériser les risques. La caractérisation des risques est la première donnée scientifique à prendre en compte pour la gestion des risques, un sujet dont il est question dans la prochaine section. Ces rapports sont illustrés à la Figure 1, tirée de l'atelier de la Commission mixte internationale (CMI) sur l'évaluation et la gestion des risques et les communications connexes, qui s'est tenu les 1er et 2 février 1993. L'évaluation des risques écologiques est le processus qui permet d'évaluer la probabilité que des effets écologiques néfastes se produisent à cause d'une exposition à un ou plusieurs agents stressants.

Il y a risque uniquement si : (1) l'agent stressant a la capacité intrinsèque de causer un ou plusieurs effets néfastes et (2) si cet agent se présente ou entre en contact avec un composant écologique (par ex., des organismes, des populations, des communautés ou un écosystème) assez longtemps et à une intensité suffisante pour engendrer l'effet néfaste connu. Certaines évaluations des risques écologiques donnent de véritables estimations probabilistes des expositions et des effets néfastes, d'autres sont plutôt déterministes ou même qualitatives. Dans de tels cas, la probabilité d'effets néfastes est parfois exprimée au moyen d'une comparaison semi-quantitative avec d'autres expositions, risques et effets plus connus. De telles évaluations doivent tenir compte des différences importantes dans les situations, par ex., entre des risques volontaires et des risques involontaires.

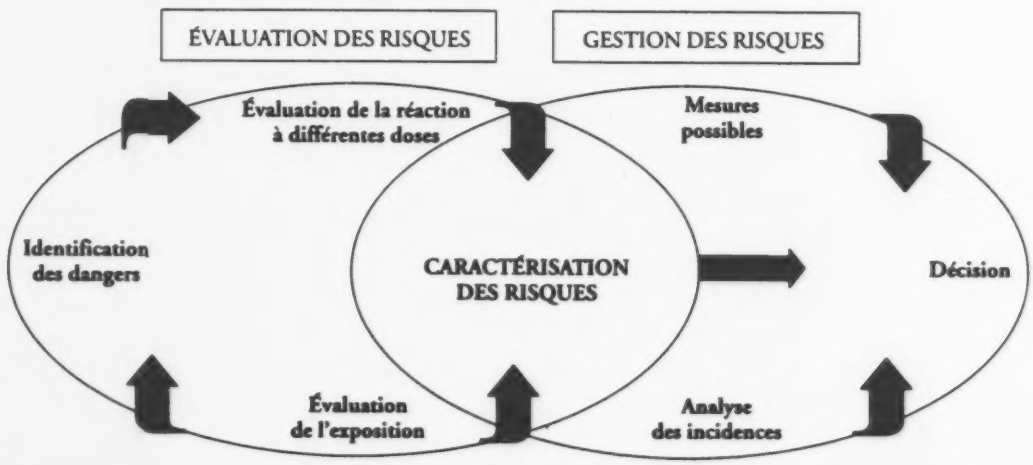


Figure 1.
Caractérisation des risques environnementaux
Lien entre l'évaluation des risques et la gestion des risques (Farland 1993)

Le modèle utilisé par l'EPA, l'**Environmental Protection Agency** des États-Unis, dans l'évaluation de la plupart des risques pour la santé humaine a été mis au point par la National Academy of Sciences; il a été rendu public en 1983. L'établissement des dangers fait partie du processus d'évaluation des risques. Les dangers pour la santé ou des systèmes écologiques viennent d'interactions avec des activités, des interventions ou des produits humains, à une intensité suffisante pour modifier le fonctionnement des systèmes humains et écologiques à un échelon plus ou moins grand (y compris les niveaux cellulaire et moléculaire). Pour déceler et reconnaître les dangers, il faut recueillir toutes les informations utiles au moyen d'expériences en laboratoire et de travaux dans différents domaines comme l'épidémiologie, la toxicologie et la cytotoxicologie, l'embryologie, la physiologie, l'anatomie et la biologie. Grâce à ce processus de reconnaissance des dangers, il est possible de déceler les failles, en matière de recherche, et d'entreprendre en conséquence des études qui permettront de faire des déclarations plus fondées, quant à l'ampleur du danger.

Les dangers autres que les produits chimiques toxiques bioaccumulables et persistants sont reconnus comme une cause de l'endommagement de l'écosystème des Grands Lacs. Ces dangers comprennent l'utilisation récréative des lacs, la construction et le dragage, l'invasion d'espèces exotiques et d'autres agents stressants. En 1993, la U.S. Academy of Sciences a actualisé son rapport de 1983 sur l'évaluation des risques et a élargi la définition de danger afin d'inclure les dangers à l'écosystème et à la santé humaine. À ce propos, l'Academy donnait en exemple l'évaluation de la pêche sur le Banc Georges, qu'elle trouvait des plus complètes. Cette évaluation comportait une définition des effets qualitatifs de la pêche sur les populations de poissons. L'évaluation faite dans ce cas particulier était erronée, mais la dynamique des communautés qui est décrite est manifestement analogue à la définition des effets des contaminants, de sorte qu'on peut sans crainte la qualifier d'identification des dangers. Les estimations de l'effort de pêche et les modèles des réactions des populations à l'exploitation sont également comparables aux évaluations à l'exposition à des produits chimiques ou aux estimations des doses et des réactions. L'énoncé des résultats, en termes de populations et de rendements futurs, pousse la caractérisation des risques plusieurs échelons plus loin qu'il ne l'avait été fait dans les études sur les contaminants, dans le rapport de 1983.

Les dernières nouveautés, dans le domaine de l'identification des dangers, touchent à ce que l'on pourrait appeler assez vaguement les «effets néfastes». Les évaluations des risques écologiques n'ont pas de pendant à l'estimation du risque de cancer à vie, utilisée dans la plupart des évaluations des risques pour la santé. Les risques écologiques en cause diffèrent qualitativement en fonction des stress, des types d'écosystèmes et des lieux. L'utilité d'éviter ces risques n'apparaît pas aussi grande, aux yeux du public, que celle d'éviter l'exposition à des carcinogènes connus. Peu de gestionnaires des risques ayant une formation d'écologiste, il est d'autant plus important que les gestionnaires des risques, les employés techniques et le grand public communiquent efficacement, afin d'aboutir à des décisions éclairées. Des agents stressants pour la santé humaine existent également dans des catégories autres que les cancers mortels; c'est le cas, notamment, des substances qui perturbent le système endocrinien ou des produits chimiques à effets neurotoxiques. Dans de tels cas, ce sont souvent des gens ordinaires, Autochtones, chasseurs, mères de famille, etc., qui décèlent en premier les dangers et attirent l'attention sur la situation.

Le deuxième composant de l'évaluation des risques est l'évaluation des rapports dose-effet. Des ensembles de données valables doivent être présentés avec des modèles plausibles permettant d'extrapoler des doses fortes aux doses faibles et de tirer des conclusions de tests en laboratoire sur des animaux, dans le but d'évaluer les dangers et les risques chez l'homme. Pour les écosystèmes, il conviendrait d'établir un rapport plus général entre l'exposition et l'effet. L'expression dose-effet a une connotation médicale; c'est pourquoi on l'utilise à meilleur escient pour la pollution chimique. En environnement, l'exposition peut être épisodique, notamment dans le cas d'une invasion par une espèce exotique, cyclique, par ex., les bateaux de plaisance, en été, ou continue, comme c'est le cas des eaux de ruissellement transportant des produits chimiques d'utilisation agricole. L'exposition comporte habituellement une dimension temporelle et une dimension quantitative, exprimée en concentrations; ensemble, ces deux dimensions influent sur l'évaluation des dommages causés à l'écosystème. Toute la gamme des possibilités de dangers doit être prise en compte dans l'évaluation des risques, laquelle doit refléter les incertitudes générales indissociables d'un tel exercice.

L'effet peut être direct ou indirect. L'empoisonnement secondaire de rapaces par accumulation de résidus de pesticides dans leurs proies ou encore les effets de la pêche sur la structure d'une communauté de poissons sont considérés comme des effets néfastes indirects. Le sous-groupe du comité scientifique consultatif sur la prise de décisions dans l'incertitude a relevé quelques autres effets indirects subtils normalement compris par les scientifiques avant que le grand public ne s'en rende compte et aussi avant que les effets ne deviennent irréversibles. Il incombe aux scientifiques de tirer la sonnette d'alarme lorsque de tels effets sont probables. Un agent stressant peut être particulièrement inquiétant non pas parce qu'il pose un risque actuellement, du fait de ses caractéristiques, mais bien parce que ses voies ou que ses effets potentiels chez un hôte posent un risque qui n'est pas déjà visible. Par exemple, un polluant chimique qui semble isolé de la biosphère, dans son état actuel, peut être libéré involontairement par des activités économiques à venir. Par ailleurs, des effets néfastes sur la santé des personnes peuvent se produire en des points fragiles du cycle de la vie, par exemple l'étape embryonnaire, alors que l'on étudie les effets chez des organismes adultes. L'effet écologique peut être un effondrement environnemental dû à une série d'effets enchaînés, dans le milieu ou dans le réseau alimentaire, tandis que l'examen de l'exposition et des effets porte sur le premier maillon de la chaîne de conséquences. L'Annexe I présente toute une série de raisons d'allonger la liste des effets néfastes indirects pour la société; il s'agit notamment d'identifier d'autres agents stressants, de cerner les incertitudes et de faire part des dangers possibles aux gestionnaires des risques et aux décideurs, même lorsque les effets indirects sont difficiles à prévoir. Nous avons l'obligation morale d'analyser les conséquences à long terme de nos activités. Il faudrait que les spécialistes en sciences sociales participent plus directement aux travaux visant à prévoir les perturbations causées par l'homme ou encore l'interruption de comportements prévus.

Le troisième volet du processus d'évaluation des risques est l'estimation de l'exposition. Ces dernières années, ce volet a acquis une importance considérable, du fait qu'il porte sur les populations ou les sous-populations qui, selon les données, seront particulièrement exposées. Le travail consiste donc à trouver les voies d'exposition, selon différentes trajectoires et sources, et à relever les incertitudes et l'importance relative des

hypothèses, à élaborer des modèles d'exposition et à établir la confiance à accorder aux données.

Il est maintenant largement admis que les expositions varient beaucoup en fonction de l'habitat, de la niche, du réseau alimentaire et d'autres considérations. Les produits alimentaires sont diffusés dans le monde entier, de sorte que des personnes peuvent être exposées à des produits toxiques à des milliers de kilomètres du point de récolte. Les espèces dont l'aire de répartition est limitée et qui dépendent du milieu immédiat pour l'air, l'eau et la nourriture font de bonnes sentinelles de l'écosystème local. Dans le cas des hommes, il convient également de prendre en compte le style de vie, les passe-temps et les utilisations non traditionnelles de l'environnement, quand on évalue l'exposition. L'exposition de l'adulte moyen pourrait n'être d'aucune utilité quand on veut expliquer les effets majeurs constatés chez les jeunes enfants ou les Autochtones. Les sciences sociales peuvent permettre d'identifier et de quantifier ces facteurs. L'exposition estimée varie en fonction de la température, de l'acidité, de l'humidité ou d'autres facteurs influant sur la biodisponibilité ou l'absorption.

L'évaluation de l'exposition peut tenir compte des données physiques, chimiques, pharmacocinétiques et métaboliques relatives à un mélange chimique polluant un écosystème. Il faut considérer les interactions chimiques et les transformations environnementales (sort, transport et dégradation) de molécules complexes. L'examen des biomarqueurs et des données sur les bioindicateurs (le cas échéant) et la révision de la liste des effets néfastes d'intérêt public ou scientifique sont de nouveaux moyens d'élargir et de préciser cette partie de l'évaluation des risques. Les biomarqueurs servent d'indicateurs de l'exposition et facilitent la définition des voies et des effets.

La caractérisation des risques consiste à combiner et à intégrer les informations et les analyses tirées des trois étapes de l'évaluation des risques, afin de décrire la probabilité que des personnes ou qu'un écosystème ne soient l'objet d'une ou de plusieurs formes de toxicité ou de dommages biophysiques liés au danger. On y explique les principaux éléments du risque, avec des estimations quantitatives, au besoin, afin de fournir une image combinée et intégrée des données factuelles disponibles.

L'incidence sur la santé humaine demeure un important aspect de la caractérisation des risques, mais on reconnaît de plus en plus que la viabilité environnementale est essentielle à la survie de l'homme et un objectif très valable de la planification humaine. La caractérisation des risques décrit la nature et souvent l'ampleur des risques pour l'écosystème, y compris toutes les incertitudes, exprimées en termes que les décideurs et le public peuvent facilement comprendre. Il faut élargir encore la définition de la caractérisation des risques donnée dans le rapport de la National Academy of Sciences de 1983, de manière à porter l'attention sur l'incertitude, à favoriser l'emploi de termes propres à la gestion des risques (y compris l'évaluation) et à souligner l'importance des communications entre les scientifiques et les gestionnaires. La caractérisation des risques synthétise les résultats des analyses techniques et les exprime d'une manière appropriée pour les études d'évaluation ou d'autres analyses stratégiques effectuées dans le cadre de la gestion des risques.

L'analyse en bonne et due forme de l'incertitude est un autre aspect important qui mérite d'être amélioré, surtout pour les évaluations de risques écologiques de toutes natures. Lors del'atelier de la CMI tenu en 1993, le groupe de discussion sur les incertitudes a défini trois grandes catégories d'incertitudes ayant des incidences sur tous les types d'évaluations des risques.

- Incertitudes de mesure - Faible pouvoir statistique attribuable à un nombre insuffisant d'observations; difficulté d'effectuer des mesures physiques; mesures ne convenant pas; variabilité naturelle des réactions organiques et des réactions des populations à un stress.

- Conditions d'observation - Variabilité spatio-temporelle du climat et de la structure de l'écosystème; différences entre les conditions naturelles et les conditions en laboratoire; et différences entre les espèces testées ou observées et les espèces présentant un intérêt pour l'évaluation des risques.

- Imperfection des modèles - Manque de connaissances au sujet des mécanismes sous-jacents; omission de prendre en compte des stress et des effets multiples; extrapolation allant au-delà de la portée des observations; instabilité des paramètres estimés.

Il est possible d'éliminer quelques incertitudes de mesure en améliorant et multipliant les mesures. Lorsque cela est impossible, il faut en faire part aux décideurs et au public. Il peut être possible d'incorporer quelques incertitudes à une analyse en bonne et due forme des incertitudes fondées sur des modèles, mais il reste que des faiblesses inhérentes aux modèles ou que l'ignorance scientifique générale sont beaucoup plus difficiles à quantifier. Toutefois, chacune de ces incertitudes et des hypothèses connexes doit être expliquée le plus clairement possible à ceux qui doivent utiliser et interpréter les conclusions sur la caractérisation des risques.

Cet exposé et le rapport résumé au cours de l'atelier de la CMI de 1993 sur l'évaluation des risques permettent de dégager clairement les points forts et les faiblesses de cette méthode décisionnelle. Les points forts sont les suivants : (1) l'évaluation des risques est destinée à organiser les informations scientifiques justement pour la prise de décisions et l'élaboration de stratégies; d'ailleurs, ses applications deviennent de plus en plus faciles à reproduire; (2) comme elle permet de connaître les incertitudes, elle peut être quantitative dans des domaines où les autres méthodes sont largement qualitatives (c'est-à-dire là où les moyens permettant d'observer les résultats de travaux en laboratoire peuvent être appliqués aux conditions naturelles); elle se veut prospective et aussi large et interdisciplinaire que le problème auquel elle permet de s'attaquer. Naturellement, elle complète les études d'évaluation et permet d'effectuer des études coûts-avantages, lorsque cela est approprié.

Certaines faiblesses limitent les possibilités de l'évaluation des risques : (1) ses applications nécessitent habituellement une grande quantité de données, durent longtemps et coûtent cher; (2) elle peut sembler dissociée de la gestion des risques, faute d'une communication intégrale et de la transparence du processus conduisant à des décisions; (3) elle peut donner la fausse impression que les sciences physiques et biologiques sont les seules à guider la politique, de sorte que les sciences sociales et la morale sont souvent négligées. Comme pour toutes les entreprises humaines, l'évaluation des risques fait intervenir des valeurs humaines dans le choix des effets néfastes à examiner, du nombre et de la nature des effets indirects et aussi des interprétations des données et d'autres paramètres. Si le processus est expliqué très clairement aux décideurs et aux gens ordinaires, ceux-ci pourront reconnaître plus facilement ces jugements de valeur.

Comités scientifiques ou comités d'experts

Comme les décisions doivent être fondées sur une solide base scientifique, on pourrait avoir besoin d'un comité interdisciplinaire d'experts, qui serait chargé de juger de la qualité et de l'utilité de la recherche, de résoudre les différends entre scientifiques, d'évaluer les études négatives (qui ne constatent pas de lien entre l'exposition en question et l'effet examiné) et généralement de préciser l'assise scientifique de certaines conclusions projetées. Il est normal que les scientifiques divergent d'opinion et il n'est pas rare, quand on s'intéresse à un effet biologique peu fréquent, de constater qu'un projet de recherche est incapable de rejeter une hypothèse «sans effet». Or, de telles situations déconcertent les décideurs et les magistrats.

Les différends scientifiques peuvent être une simple étape conduisant à une compréhension éclairée du phénomène et permettant de dégager de nouveaux besoins en matière de recherches, de mieux reconnaître les conditions causant les effets ou d'attirer l'attention sur des voies, des mécanismes biologiques ou des effets biophysiques jusque-là inconnus. La compréhension scientifique de notre monde complexe s'étend aujourd'hui à des modèles non linéaires et à la théorie du chaos, c'est-à-dire que le monde est moins rassurant pour les décideurs que quand il était fondé sur des modèles linéaires prévisibles. Et pourtant, ces nouveaux modèles semblent plus réalistes, quant aux interactions biophysiques de l'écosystème.

Comme toute méthode, celle des comités d'experts a ses forces et ses faiblesses. Généralement, les comités scientifiques offrent plus de souplesse que la méthode de l'évaluation des risques pour la reconnaissance et la prise en compte des informations relatives aux effets sur l'écosystème, en un lieu donné. L'évaluation des risques s'intéresse davantage aux effets des dangers sur un écosystème idéalisé. La grande force des comités d'experts se trouve dans la globalité des conclusions et dans leur relative actualité. Contrairement à la supposition de causalité et à l'évaluation des risques, le comité d'experts peut examiner toutes les informations pertinentes à un moment précis, évaluer l'incertitude et arriver à des conclusions convenant au processus décisionnel. Il permet également d'identifier des facteurs de biosurveillance convenant à la situation et à la nature des incertitudes, ces facteurs pouvant être mis en oeuvre lorsqu'il a été décidé de prendre des mesures contre des effets importuns ou inattendus. Le comité d'experts peut donc tracer une voie temporaire et installer des balises en vue d'un examen subséquent de la politique et un dispositif d'alerte rapide en cas de résultats néfastes. En revanche, il a tendance à traiter les incertitudes de manière qualitative plutôt que quantitative et il pèche par le processus de sélection qui précède sa formation; un autre comité pourrait arriver à d'autres conclusions. La reproductibilité est l'élément le plus fort des deux approches quantitatives examinées plus haut; si le comité d'experts n'en est pas totalement dépourvu, elle ne fait pas partie intégrante de son fonctionnement.

2.3.3 Gestion des risques

Après que le processus scientifique, la supposition de causalité, l'évaluation des risques ou le comité d'experts a établi le fondement scientifique pour la prise de décisions et dégagé les incertitudes, d'autres disciplines participent à la prise de décisions, dans les limites juridiques, sociales et morales imposées par la société. La collecte et l'intégration de ces autres informations au processus décisionnel peuvent être officielles ou informelles.

Au Canada, le processus s'appelle l'**acceptation des risques**. La tolérance du public à l'endroit du risque est modifiée par son expérience, par d'autres risques auxquels il est exposé, par ses connaissances, par les aspects socio-économiques du problème et par les valeurs morales de la collectivité. Certains aspects de l'apport social à la prise de décisions et sont examinés sous la rubrique de la science civique et de l'évitement prudent, deux attitudes sociales appliquées à la prise de décisions et qui teintent les risques considérés acceptables et moraux par une population donnée, à ce moment-ci de l'histoire.

Parmi les apports plus officiels au processus d'évaluation qui sont actuellement reconnus au Canada, mentionnons des mémoires sur les conséquences de la proposition en matière d'équité sociale, l'incidence socio-économique de la proposition sur la culture, les emplois et les plans d'avenir de la collectivité et l'évaluation des effets cumulatifs qui analyse les désavantages déjà subis par la collectivité à laquelle on demande d'assumer le risque ou de continuer d'assumer d'autres risques. La réalité de l'acceptation du risque a été reconnue par le gouvernement américain lorsqu'il a fixé des normes de radioprotection pour les habitants de la République des Îles Marshall, dans le Pacifique, de retour sur leur atoll contaminé par des essais nucléaires. Des normes de radioprotection plus sévères que celles en vigueur aux États-Unis furent alors établies, en raison des dommages déjà subis par la population à la suite de leur exposition à du rayonnement ionisant.

Si la caractérisation des risques est plus universelle, la gestion des risques, pour sa part, s'intéresse à un projet particulier ou à une activité donnée, en un lieu et à un moment précis.

Science civique

Lors de la réunion tripartite organisée dans le cadre de la réunion bisannuelle de la Commission mixte internationale en 1993, le Conseil de la qualité de l'eau des Grands Lacs et le Conseil consultatif scientifique pour les eaux des Grands Lacs, de même que le Conseil des gestionnaires de la recherche des Grands Lacs se sont demandé comment il fallait prendre des décisions stratégiques en situation d'incertitude, étant donné les conséquences que pouvait avoir la prise de décisions en l'absence de preuve sur un lien catégorique de cause à effet. Le scientifique Henry Regier a passé en revue les méthodes utilisées pour composer avec l'incertitude dans le domaine des sciences physiques, grâce aux sciences sociales et à des initiatives interdisciplinaires qualifiées par certains de «science nouvelle» ou de «science civique». La science civique tient compte de l'apport complexe des personnes dans la société, ainsi que de leurs orientations professionnelles et disciplinaires; c'est ce qu'on appelle souvent des opinions publiques éclairées.

Au coeur de cette thèse se trouve la nécessité de faire la distinction entre les incertitudes liées à la compréhension d'un problème (les faits scientifiques) et les incertitudes liées à la politique (ce qu'on peut faire pour le résoudre). Pour résoudre le problème, il faut attribuer correctement les incertitudes afin de pouvoir utiliser les méthodes et prendre les décisions dans les limites imposées par la science ou la politique. S'il est impossible de faire l'unanimité chez les scientifiques mais qu'il faut quand même prendre une décision politique, la tradition démocratique exige qu'une gamme d'opinions soient exprimées par des experts et le grand public, de sorte que la décision d'agir peut être fondée sur des valeurs sociales et morales plutôt que sur des calculs d'experts. Voir à ce propos la Figure 2.

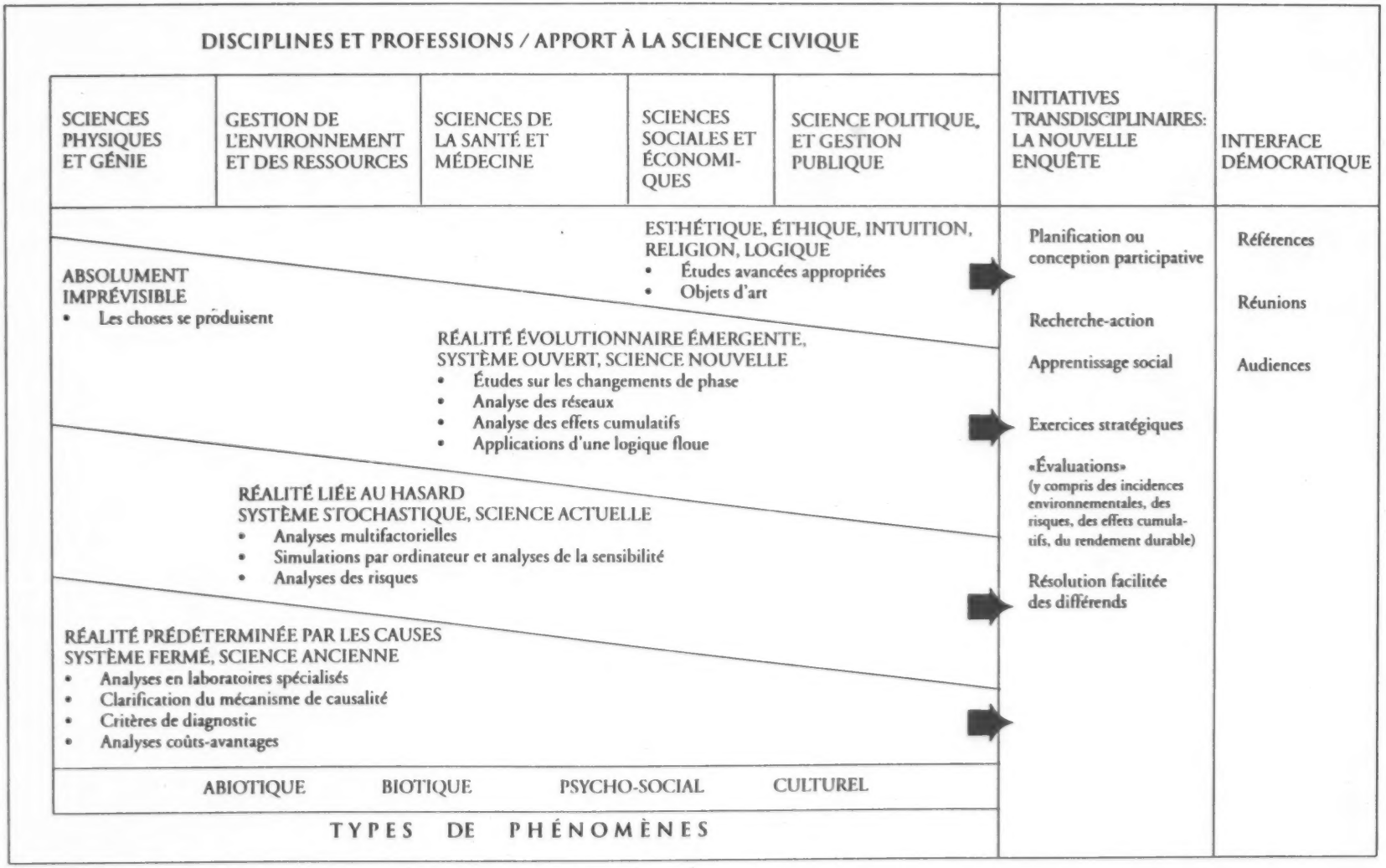


Figure 2.
Les spécialistes scientifiques et professionnels accomplissent souvent leur travail en recourant à différentes attitudes mentales. Des initiatives transdisciplinaires, en plus d'être répétitives, ont le pouvoir de s'intégrer à tous les types de disciplines et de professions, de même qu'à des méthodes et à des états d'esprit variés [(d'après H. Regier, Managing on the way to ecosystem integrity, réunion tripartite de la CMI, 22 octobre 1993, Windsor (Ontario)].

Le défi consistant à incorporer des valeurs sociales à deux domaines d'incertitudes - la compréhension scientifique et la formulation de politiques -est au coeur de la notion de science civique. C'est le domaine public où sont interprétés les faits et où émergent les questions sociales, dans le cadre d'un grand processus itératif érigé en système par les gouvernements et les établissements d'enseignement. La science traditionnelle donne une image de plus en plus précise mais encore imparfaite du monde et ses limites sont largement reconnues par nombre de philosophes des sciences. La science civique manifeste sa puissance dans le doute, puisant dans toutes les autres sciences, dont les sciences sociales et la morale, les sciences humaines et les multiples expériences des citoyens. Ces nombreux point de vue alimentent le dialogue (comme l'illustre de manière schématique la Figure 2), grâce à l'apport professionnel de la collectivité en général, et enrichissent les valeurs communes. Des notions comme le principe de la précaution et le fardeau inverse découlent de ce que les collectivités se jugent redevables aux générations futures, lorsque les conséquences d'actions sont jugées potentiellement catastrophique et que le fardeau de la preuve imposé aux victimes de la pollution devient insupportable ou impossible à gérer dans les limites du régime actuel. Les animaux ne peuvent intervenir dans les évaluations d'incidences environnementales, pas plus que les victimes humaines de la pollution ne peuvent commander une recherche épidémiologique d'un million de dollars.

Les solides principes de la science civique débordent du cadre de l'évaluation scientifique des risques. Ils supposent la nécessité d'une consultation plus large pour la prise de décisions ou la gestion des risques, deux étapes du processus de l'élaboration de politiques. Il faut bien reconnaître que l'assise scientifique de la caractérisation des risques ne dicte pas l'orientation à prendre. Un risque acceptable pour des scientifiques peut fort bien être inacceptable pour le citoyen ordinaire. La tension entre les sciences exactes et les sciences humaines aidera assurément la société à délibérer avec plus de maturité, car ni les premières ni les secondes ne peuvent prétendre détenir toute la vérité.

Des notions comme le principe de la précaution et le fardeau inverse tirent leur origine de la méfiance généralisée à l'égard des opinions d'experts, surtout quand celles-ci sont utilisées pour justifier des décisions politiques. Les uns connaissent toutes les subtilités de la grammaire et, pour d'autres, le moteur-fusée n'a plus de secret, mais, comme le fait remarquer Hoyos (1987), peut-on trouver une personne parfaitement au courant des effets actuels et futurs des grands dangers qui pèsent sur la nature et la société? Lorsque les experts vont au-delà des données accessibles pour exprimer leurs opinions, il faut faire autant de réserves que s'il s'agissait de simples spéculations de profanes. Réfléchissant sur les besoins de recherches à venir, en cette matière, Fischhoff et coll. (1981) recommandent d'évaluer l'incertitude en la délimitant par quatre grands domaines de connaissance :

- définition du problème
- établissement des faits
- évaluation des éléments humains
- évaluation de la qualité des décisions prises

L'incertitude peut être réduite au moyen d'une analyse rationnelle, mais le jugement humain et la prise de décisions (même par des experts) peuvent être faussés par la tendance qu'ont les gens à simplifier des sujets complexes à l'aide de règles de jugement. Cela découle du besoin souvent observé qu'a l'esprit humain de rationaliser et d'achever un processus de pensée; par ex., si un fait ne peut pas être expliqué, on invente une solution possible pour expliquer ce qui s'est passé (Ingram, 1994). L'utilisation de cette technique, baptisée heuristique[2], est répandue en recherche sur les sciences sociales; on relève trois grandes catégories d'heuristique :

- Souvent, pour évaluer la probabilité d'un événement donné, les gens recourent à l'heuristique de disponibilité. Alors, leur jugement sur les probabilités est guidé par la prise en compte des occurrences antérieures de l'événement ou d'une situation avec laquelle les gens peuvent voir l'événement se produire. Les recherches indiquent que l'utilisation de l'heuristique de disponibilité donne des résultats raisonnables lorsque l'expérience et la mémoire d'une personne, relativement à des événements observés, correspondent assez justement avec l'événement en question. Si le rappel ou le recours à l'imagination est ardu, la méthode conduit souvent à une sous-estimation (par ex., en l'absence d'une expérience récente, si la notion est abstraite ou qu'elle n'est pas encodée dans la mémoire).

- La représentativité est la deuxième méthode heuristique fréquemment utilisée pour la formation d'opinions au sujet d'événements incertains. Pour établir la probabilité qu'un objet donné appartienne à une classe d'objets particulière ou qu'un fait soit causé par un processus donné, les gens espèrent que des détails de l'objet ou de l'événement trahissent son appartenance à une catégorie ou son ascendance à un processus. Par exemple, les gens pensent qu'il est plus probable d'obtenir la séquence FPFPPF, en lançant un pièce en l'air six fois, que la chaîne FFFPPP ou que la séquence FPFPFP, parce qu'ils savent que le *lancer* de la pièce obéit à hasard. Les trois séquences ont autant de chances de se produire, mais la première a l'air plus aléatoire que les deux suivantes. Ce phénomène, qui consiste à attendre au niveau inférieur ce que l'on sait exister au niveau supérieur, engendre la croyance en la loi des petits nombres, laquelle est souvent utilisée par les personnes ayant reçu une formation en statistique.

- Une troisième méthode heuristique fréquemment utilisée est celle de l'ancrage et de la correction, en vertu de laquelle un point de départ naturel, l'ancrage, est choisi comme première approximation de la valeur à estimer; par la suite, cette valeur est corrigée en fonction des nouvelles informations obtenues. Par exemple, à la question sur l'évaluation des causes de décès, les répondants fournissent invariablement une première série d'estimations basses pour toutes les causes, lorsqu'on leur donne une valeur de base pour une cause de décès rare, par ex., l'électrocution accidentelle (environ 1 000 cas par année, aux États-Unis), contrairement à ce qui se produit si on leur indique des causes plus fréquentes de décès, notamment les accidents de la route (environ 50 000 personnes par année, aux États-Unis) (Morgan, 1990).

Dans d'autres études opposant les jugements de spécialistes et de non-spécialistes, on a constaté des effets du genre «biais motivationnel», c'est-à-dire que les obligations juridiques liées

2 L'utilisation de l'heuristique a été soulignée par le CCS dans son rapport de 1989, relativement à l'utilisation de recherches-sondages (voir à la p. 54).

aux responsabilités professionnelles donnent lieu à des décisions prudentes qui cherchent à éviter les risques. On trouve dans la documentation existante quelques exemples tirés des domaines de la médecine, du génie et de la vérification comptable. Dans des domaines complexes impliquant une part d'incertitude, la recherche montre que des spécialistes n'obtiennent pas, en règle générale, de meilleurs résultats que leurs secrétaires pour l'évaluation de certains résultats. Les spécialistes ont tendance à utiliser leur connaissance des processus et des valeurs quantitatives réelles tandis que les non-spécialistes procèdent généralement à l'inverse, c'est-à-dire qu'ils travaillent à partir d'exemples familiers et de valeurs connues qu'il est facile d'estimer. Si les données quantitatives familières conduisent à des valeurs approximatives correctes, il est possible de produire la «meilleure estimation possible» qui correspond au jugement des spécialistes.

Dans les domaines où il est possible de porter des jugements exacts, la réussite ne dépend pas d'une certaine capacité de jugement inhabituelle de la part des intéressés. Elle s'appuie plutôt sur l'existence d'une science évoluée qui offre une théorie établie, des techniques de mesure précises ainsi que des lignes directrices prédéterminées quant aux procédures à suivre et aux jugements à porter. De cette façon, on compte moins sur les capacités cognitives et sur la nécessité d'effectuer de grands bonds inférentiels. Lorsque les faits scientifiques sont connus, les spécialistes n'ont pas besoin de compter sur la supériorité intrinsèque, le cas échéant, de leurs aptitudes cognitives et ils peuvent simplement appliquer leurs connaissances pour porter des jugements exacts (Faust, 1985).

Au chapitre six de leur ouvrage portant sur «l'incertitude», Granger Morgan et Max Henrion tirent la conclusion suivante :

> La documentation produite de façon expérimentale n'est pas suffisamment détaillée pour permettre de faire des prévisions exactes mais les problèmes semblent davantage susceptibles de se produire dans les secteurs nécessitant des tâches complexes où l'application de théories qui s'appuient sur des connaissances empiriques est limitée. Il semble que le fait de demander une justification soigneusement structurée ainsi que des explications à l'appui des jugements portés et contre ceux-ci pourrait avoir pour effet d'améliorer la qualité des jugements portés.
>
> ... La preuve obtenue expérimentalement ne fournit aucune base permettant de croire que les problèmes de biais cognitif pouvant surgir lorsque des spécialistes portent un jugement subjectif sont nécessairement moins graves que ceux qui ont été documentés lorsque des non-spécialistes sont mis à contribution. Les expériences que nous avons examinées illustrent clairement la nécessité et l'importance d'études additionnelles sur l'obtention de l'avis de spécialistes mettant en cause des jugements techniques complexes du genre de ceux habituellement requis dans le cadre des analyses stratégiques techniques et économiques. Jusqu'à ce que ces études soient effectuées, on ne peut que procéder avec soin, tout en n'oubliant pas que les jugements portés par les spécialistes peuvent être grandement erronés mais que, souvent, il n'en existe pas d'autre.

Pour mieux comprendre la prise en compte des problèmes comportant une part d'incertitude lorsqu'un jugement est porté, il est utile d'examiner un problème passé à savoir le DDT, et un problème futur possible, la **somatotrophine bovine recombinante** (STBr).

Le cas du DDT, dont l'utilisation est interdite depuis 1972, fournit un exemple de première heure d'une approche fondée sur le fardeau de la preuve découlant des préoccupations du public, à laquelle se sont ajoutées des études scientifiques et des audiences, le tout conduisant à la décision d'interdire le produit en question. La décision finale rendue par l'administrateur de l'US EPA était contraire aux conclusions des audiences, soit 9 300 pages de témoignages, 300 documents techniques et l'avis de 150 spécialistes scientifiques, sur une période de sept mois. Suivant la recommandation formulée, «aucune autre interdiction sur une grande échelle du DDT n'est nécessaire ni souhaitable compte tenu des preuves présentées aux audiences». Cependant, l'administrateur a également été obligé de prendre en considération les audiences tenues dans les États et une décision rendue au Wisconsin concernant le retrait immédiat de l'homologation du DDT (Loucks, 1971).

Quelle méthodologie pourrait-on utiliser - compte tenu de notre expérience et de nos connaissances accumulées - quant à l'incertitude que suscite l'utilisation de la STBr pour accroître la production laitière des vaches? C'est une question scientifique qui peut avoir des répercussions sur la santé de l'homme et des animaux et seulement quelques spécialistes sont en mesure d'alimenter le débat. Dans une analyse exhaustive de la documentation scientifique publiée dans le magazine *Science* (Juskevich et Guyer, 1990), les auteurs concluent, suivant une approche fondée sur le fardeau de la preuve, qu'il n'y a aucun risque accru pour la santé des consommateurs même si l'expérience la plus longue qui est citée n'est qu'un test de 90 jours portant sur un petit groupe de rats soumis à une dose donnée. L'utilisation de la STBr a été approuvée par les autorités réglementaires aux États-Unis; maintenant, il incombe aux producteurs laitiers et aux consommateurs de prendre une décision d'ordre économique et éthique. Certains s'élèvent contre l'emploi de la STBr parce qu'ils s'opposent à la biotechnologie en général tandis que d'autres appuient leurs conclusions sur les avantages et les risques perçus. Aux États-Unis, la majorité des producteurs laitiers n'utilisent pas la STBr même si le fabricant en garantit l'innocuité et malgré les diverses expériences citées à l'appui (Stoneman, 1995).

Quelles conclusions peut-on tirer de ce qui précède?

- Le concept de la science civique ne comporte pas uniquement la participation du public et il est essentiel à l'orientation du processus décisionnel dans une société démocratique. Ce concept a été conçu au cours de la réunion tripartite et de l'atelier tenu à Ann Arbor, ayant pour thème «notre communauté, notre santé», les 14 et 15 septembre 1992; de plus, la question commence à susciter l'intérêt des étudiants dans le domaine des politiques scientifiques et gouvernementales. Le Conseil des gestionnaires de la recherche des Grands Lacs et le Conseil consultatif scientifique doivent poursuivre leur réflexion quant à ses répercussions.

- Les experts et les méthodologies scientifiques sont essentiels si l'on veut réduire le facteur d'incertitude, c'est-à-dire les effets négatifs du changement. En fin de compte, les décisions sont prises par des personnes déterminées par des connaissances, par la culture et par des valeurs. On peut considérer l'incertitude comme un élément positif du

changement qui englobe tant l'innovation que l'occasion, contrairement à un état de certitude qui est entaché par la régression, c'est-à-dire la stagnation et l'inertie.

Principe de la prudence

Comment faire pour savoir que la preuve, que les connaissances accumulées ou que le risque de dommage sont suffisants pour que la personne raisonnable suppose que les scientifiques devraient donner l'alerte et que les décideurs devraient agir?

Commissaire Gordon Durnil
Rencontre ayant pour thème l'application du fardeau de la preuve : questions et pratique,
Windsor, le 24 octobre 1993

L'application du **principe de la prudence**, parfois appelé l'évitement prudent, est une mesure éthique essentielle si l'on veut empêcher les dommages catastrophiques qui résulteront probablement du choix effectué actuellement.

Comme on l'a mentionné dans la section sur l'acceptation des risques, les avertissements concernant la détérioration de l'environnement lancés par les chasseurs ou les pêcheurs, les collectivités autochtones, les mères de famille ou d'autres personnes résidant dans le bassin des Grands Lacs participent à la «preuve» et à l'orientation suivie dans le cadre de l'élaboration des politiques. Les scientifiques qui font partie de la population générale mais qui n'ont pas participé à la préparation de l'évaluation scientifique des risques ou qui n'ont pas fait partie d'un comité d'experts peuvent, de par leurs critiques, jouer un rôle spécial en établissant les caractéristiques les plus préoccupantes, les voies environnementales ou les réactions environnementales et humaines liées aux agents éventuellement dangereux, dont les conséquences ne sont pas suffisamment bien comprises du grand public ni expliquées dans les énoncés scientifiques élaborés à l'intention des décideurs. L'annexe 1 explique plus en détail les aspects subtils des dangers que les scientifiques décèlent plus facilement que le grand public.

Il ressort des exemples examinés ci-dessus qu'il est possible d'utiliser de façon arbitraire l'évitement prudent pour prévenir tout processus décisionnel effectif tout comme il est possible de ne pas faire appel à l'évitement prudent pour des décisions où il conviendrait d'y avoir recours. Dans le cas du DDT, le processus décisionnel était contraire aux preuves prépondérantes présentées au cours des audiences tandis que dans le cas de la STBr, c'est le contraire qui s'est produit, c'est-à-dire que l'on a présenté une proposition sans disposer d'un appui scientifique suffisant.

Le principe de la prudence ou de mesures de précaution a été énoncé dans la déclaration de Rio, en 1992, en ces termes :

> *En cas de risque de dommages graves ou irréversibles, l'absence de certitude scientifique absolue ne doit pas servir de prétexte pour remettre à plus tard l'adoption de mesures effectives visant à prévenir la dégradation de l'environnement.*

Principe 15, Déclaration de Rio, le 12 août 1992
Conférence des NU sur l'environnement et le développement

Suivant ce principe, il faut avoir recours à l'évitement prudent lorsque «la preuve est suffisante», lorsque «les connaissances accumulées sont suffisantes» et en cas de risque de «dommage possible suffisant». Il faut utiliser son jugement pour déterminer si la preuve disponible est «suffisante».

Vu que la preuve scientifique et que les connaissances accumulées supposent une exposition suffisante d'une population ou d'un écosystème ainsi qu'une période de suivi appropriée pour l'observation des effets à long terme, le dommage peut être irréversible et inacceptable avant que les décideurs ne soient suffisamment convaincus des dommages et prennent les mesures nécessaires. Par conséquent, le troisième critère est particulièrement important parce qu'il sert à avertir les décideurs et le public de l'ampleur du risque. L'«acceptabilité» du risque est une décision politique et non pas scientifique.

Le rôle de la science à l'appui du processus décisionnel en cas d'incertitude de la preuve consiste à élaborer des théories et à produire une preuve qui contribuent à l'élaboration des politiques. Il faut également communiquer la validité, la pertinence et les limites de cette preuve.

Cependant, dans un cadre démocratique, la politique tient compte non seulement des apports scientifiques mais aussi de l'éthique, des aspirations, des opinions et des valeurs de la société. Jack Weinberg et Joe Thornton, de Greenpeace, ont exprimé les préoccupations d'un grand nombre de résidents du bassin des Grands Lacs dans la déclaration suivante :

> L'état actuel des Grands Lacs laisse croire à une faille dans la politique environnementale passée, une faille qui a été aidée et encouragée par les limites ou les lacunes dans les secteurs scientifiques ayant fourni l'information utilisée pour l'élaboration de cette politique. Il est temps de réévaluer les méthodes d'élaboration des politiques qui sont fondées sur les concepts de la «capacité assimilable» et du «dommage acceptable» - notamment l'évaluation des risques et les analyses risques/avantages. Étant donné la façon dont ils sont utilisés actuellement, ces exercices ne produisent jamais des prévisions significatives des risques ou des avantages réels. Les modèles circonscrits simplifiés utilisés pour «quantifier» les menaces à la santé et à l'environnement ne ressemblent pas beaucoup aux phénomènes complexes et imprévisibles qui se produisent lorsque des mélanges de produits chimiques pénètrent dans des systèmes naturels intégrés.
>
> La décision sociétale relative à l'établissement d'une norme donnée en matière de preuve dans un secteur d'intérêt reflète un jugement de valeur sociétal au sujet du secteur en question dans les cas où les données sont incomplètes et que l'incertitude subsiste. Une politique fondée sur l'inversion du fardeau de la preuve protège la société contre l'abus de pouvoir de la part de l'industrie et aussi contre la corruption, les mesures arbitraires et même les erreurs de jugement commises de bonne foi.
>
> L'établissement du fardeau de la preuve pour le choix des mesures à prendre dans un contexte d'incertitude n'est pas un exercice où les valeurs n'ont pas leur place. Il faut enchâsser la prudence dans la règle d'inférences. Le but consiste à produire des inférences capables d'éclairer une démarche qui réduira au minimum la possibilité de dommages importants.

> Lorsque les dommages sont étendus, que l'incertitude est grande et que notre capacité de prévoir l'avenir est limitée, nous adoptons une attitude prudente dans nos jugements et nos inférences. En agissant avec prudence, nous modifions tant le but que la pratique de l'établissement du fardeau de la preuve.

Pour pouvoir établir quelques critères pour la détermination des dangers qui pourraient éventuellement donner lieu à des dommages importants, le groupe de travail a élargi le critère de la CMI concernant les produits chimiques toxiques bioaccumulatifs persistants pour l'appliquer à d'autres caractéristiques des dangers, à savoir les voies de dispersion et la nature des réactions de l'homme et de l'environnement. Voir à ce sujet l'annexe I. En déterminant de cette façon les caractéristiques préoccupantes des dangers possibles, nous espérons donner plus de poids aux bases rationnelles des décisions stratégiques relatives au bassin des Grands Lacs. Lorsque les caractéristiques préoccupantes en question sont vérifiables sur le plan scientifique, le scientifique soucieux des règles de l'éthique doit donner l'alerte et l'on peut raisonnablement s'attendre à ce que les décideurs prennent des mesures. À tout le moins, la réaction à l'annonce d'un danger consisterait à :

- **fournir de l'information complète au public pour alimenter le débat**
- **procéder à l'inversion du fardeau de la preuve**, pour qu'il incombe au pollueur de prouver l'absence de dommage
- **appliquer l'évitement prudent** pour protéger le bien environnemental/public éventuellement menacé.

Il est encourageant de constater que certaines industries utilisent actuellement leurs propres ressources scientifiques et technologiques pour déterminer les conséquences de l'activité humaine ou des produits artificiels et pour assurer une protection contre les incidences négatives indirectes sur la santé et sur l'environnement. La protection de la nature et la bonne conscience sociale de l'entreprise sont des réponses exigeantes à tous les niveaux du processus décisionnel et de la gestion dans notre monde composé de divers segments interreliés.

Étant donné les dommages irréversibles possibles résultant de décisions non éclairées quant aux conséquences, il faut élargir davantage le processus de gestion des risques dans le cadre du processus décisionnel pour y inclure une analyse explicite de l'acceptation des risques. On peut s'attendre à des progrès dans le domaine de la science civique et dans le cadre de la politique de l'évitement prudent. Les gestionnaires doivent examiner le risque du point de vue de l'écosystème réel ou de la collectivité humaine à qui l'on demandera d'accepter le risque. Une telle spécialisation est au-delà de la portée de l'évaluation des risques ou de l'inférence de la causalité et elle n'est que partiellement réalisée au moyen de l'utilisation de comités d'experts. Si l'on établissait officiellement les considérations en matière d'équité, les incidences socio-économiques et les impacts cumulatifs, on ferait beaucoup pour rendre les décisions relatives à la gestion des risques transparentes. Par exemple, lorsque les facteurs du genre ne sont pas pris en compte dans le cadre de la planification, il pourrait arriver que l'on sacrifie un secteur déjà dégradé parce que celui-ci est constamment choisi pour les projets moins souhaitables, du fait qu'il n'a aucun «atout de valeur» à perdre.

2.3.4 Fardeau de la preuve

Comme il est mentionné dans le *Septième rapport biennal*, la Commission se sert du fardeau de la preuve pour tirer des conclusions et pour formuler ses recommandations. La Commission a reçu des apports concernant l'évaluation des risques de la part de groupes d'experts scientifiques dans les domaines de l'inférence de la causalité et de l'évaluation scientifique des risques. Elle occupe également une position clé qui lui permet de recevoir les apports sur l'acceptation des risques tant de la part des milieux scientifiques civils que des scientifiques préoccupés par les incidences à long terme ou par les effets indirects plus subtils des dangers qui ne sont habituellement pas pris en compte dans le cadre des évaluations des risques. Comme on l'a mentionné dans le rapport, la Commission tient compte du «poids cumulatif des nombreuses études qui se sonts penchées sur la question des dommages subis par les organismes vivants».

La description ci-dessus s'inspire de la reconnaissance des responsabilités des juges et des jurés qui doivent établir le fardeau de la preuve et rendre un jugement. En cour, on utilise les compétences et la crédibilité des témoins pour donner du poids à la preuve. Habituellement, le juge donne les raisons sur lesquelles il appuie son choix entre les exposés contraires des parties. Bien entendu, il n'est pas nécessaire que cela soit écrit en noir sur blanc et pris au pied de la lettre; l'ancien président, M. Durnil, a conseillé aux participants à l'atelier organisé au cours de la réunion biennale de 1993 d'oublier la notion de signification juridique traditionnelle, c'est-à-dire la prépondérance de la preuve crédible. Lorsqu'on accumule les preuves, on accumule les dommages et l'on tolère des processus qui peuvent devenir irréversibles. Il a plutôt encouragé l'application du fardeau de la preuve pour l'évaluation des possibilités d'effets délétères et il a indiqué que le problème véritable consistait à déterminer comment et quand nous pouvons savoir que «la preuve ou les connaissances accumulées sont suffisantes» pour qu'une personne raisonnable en vienne à la conclusion que les décideurs devraient passer à l'action. Dans son *Septième rapport biennal*, la Commission mentionne que la conclusion «fait appel au bon sens, à la logique et à l'expérience aussi bien qu'aux concepts scientifiques formels».

Ce bref sommaire de la démarche suivie par la Commission pour proposer l'utilisation du «fardeau de la preuve» laisse supposer qu'il faut régler plusieurs points. Nous devons fournir une réponse au public qui veut savoir comment nous procédons. Un aspect majeur consiste à déterminer s'il faudrait *rassembler l'information*, et en établir le poids par rapport aux mesures politiques, dans un seul et même document ou rapport. Ce n'est le cas dans aucune des approches utilisant l'évaluation scientifique ni dans le cadre des procédures juridiques. En fait, il existe des précédents remarquables faisant clairement état de la distinction nette entre les responsabilités du procureur, du juge et des jurés à l'égard de différents aspects de l'information à prendre en compte. De même, il existe de nombreux précédents concernant la séparation entre les processus lorsqu'il est question de conclusions scientifiques (comme dans les trois méthodes susmentionnées) et de processus ayant trait aux politiques gouvernementales et aux décisions connexes. Les questions auxquelles la Commission tente de répondre dans son rapport biennal sont, en fait, un mélange des points soulevés ci-dessus. La Commission n'est pas un organe décisionnel dans le sens habituel du terme et elle n'élabore pas de politiques (même si ses recommandations aux parties peuvent conduire à l'adoption de politiques). Par ailleurs, la Commission prend

connaissance d'un large éventail d'évaluations et de conclusions scientifiques, souvent contradictoires, et elle doit faire un choix entre des conclusions scientifiques contraires. La véritable question consiste donc à déterminer si le fardeau de la preuve est un terme approprié lorsqu'une décision scientifique doit être prise. En outre, les recommandations de la Commission sont établies non seulement en fonction de la caractérisation des risques découlant des apports scientifiques, mais aussi des apports juridiques, sociaux, économiques, éthiques et autres qui se reflètent dans les décisions relatives à la gestion des risques.

De nombreux points de vue ont été présentés à l'atelier organisé dans le cadre de la réunion biennale tenue en octobre 1993 et il a alors été question de tous les problèmes susmentionnés. Glen Fox, du Service canadien de la faune, s'est dit préoccupé par l'application des principes scientifiques dans le but d'expliquer les liens de cause à effet; pour sa part, Margaret Berger, de la Brooklyn Law School, est préoccupée par les jugements récents de la cour suprême des États-Unis en vertu desquels les tribunaux sont tenus, en général, de faire preuve d'une plus grande rigueur quant aux critères utilisés pour juger, en cas de conflits, les experts, les données scientifiques et les références tirées d'études sur les animaux réalisées en laboratoire. L'étude de cas présentée par William Owens, de la société Procter and Gambles, est particulièrement intéressante : une approche fondée sur le fardeau de la preuve (y compris une étude de 3 millions de dollars d'une durée de trois ans) a permis de régler avec succès les problèmes posés par des données conflictuelles quant aux risques pour les ressources des pêches à une usine de fabrication de pâte située au Canada. Le processus a conduit au retrait des dispositions réglementaires proposées concernant les effluents qui auraient pu avoir de graves conséquences. Dans ce cas, le processus a été conçu pour établir un consensus et pour régler des différends scientifiques légitimes quant à l'importance, à la causalité et à l'interprétation. Notre expérience des comités scientifiques ayant pour mandat la formulation de recommandations à l'intention des décideurs nous permet de dire que la transparence du processus d'établissement du fardeau de la preuve et de décision a une importance cruciale.

Ces exemples, et le rapport de l'atelier comme tel, nous ramènent à la question concernant les valeurs fondamentales posée par l'ancien président, M. Durnil, au début de l'atelier : comment et quand savons-nous que la preuve ou les connaissances sont suffisantes pour que nous puissions nous attendre à ce que les décideurs prennent des mesures? Les participants à l'atelier n'ont pu répondre à cette question dans laquelle les valeurs occupent une large place; toutefois, des points importants ont été examinés dans le document présenté par Jack Weinberg et Joe Thornton de Greenpeace USA. Ceux-ci reconnaissent que la science est un processus en continu de recherche de la vérité, plutôt qu'une collection de vérités ultimes, et que, étant donné l'absence fréquente de données scientifiques appropriées, les évaluations des risques se font à l'aveuglette - elles sont même parfois utilisées comme preuve d'innocuité. Ils signalent également l'utilisation continue des critères relatifs au fardeau de la preuve en cour : «hors de tout doute raisonnable» dans le cas des crimes capitaux et «prépondérance de la preuve crédible» dans le cas de certains marchés ou dans les procédures de nature administrative. L'éthique et les valeurs sociétales sont prises en compte pour ce travail, tout comme elles devraient l'être pour l'établissement de la preuve en ce qui concerne les risques pour l'environnement. Donc, ces auteurs se prononcent en faveur d'une démarche très prudente, ou de l'inversion du fardeau de la preuve, lorsque les données sont inexistantes ou rares, et lorsque des dommages graves sont possibles, plutôt que pour un processus fondé sur le fardeau de la preuve, basé sur la prépondérance de l'information existante, comme on l'a décrit plus haut.

Les différences exposées ici succinctement laissent entendre qu'il faut établir un consensus quant aux valeurs sociétales et à la tolérance face aux risques en plus des méthodologies utilisées pour l'évaluation scientifique et le processus décisionnel. Il faut également établir clairement le degré de certitude exigé de la part des décideurs qui sont confrontés à des menaces de dommages plus ou moins graves et il faut surveiller attentivement les répercussions des décisions lorsque les informations de base baignent dans l'incertitude.

2.3.5 Synthèse et conclusions

Les approches décrites dans les sections précédentes ne sont pas utilisées indépendamment les unes des autres. Dans une large mesure, elles sont utilisées toutes en même temps. Cependant, pour répondre aux questions posées au début concernant la façon dont nous devrions procéder, il faudrait établir comme objectif que tous les intéressés se chargent eux-mêmes de déterminer par quels moyens ils peuvent contribuer au processus total. Les comparaisons entre les approches sont utiles; le sommaire présenté au tableau 3 facilite la tâche.

On trouve du côté gauche du tableau une liste de neuf points de comparaison, dont la plupart ont déjà été examinés brièvement dans les sections précédentes. D'autres comparaisons pourraient être proposées. Parmi celles indiquées, l'une des plus intéressantes est la comparaison entre les types d'informations utilisées dans chacune des approches. Certaines approches, par exemple l'explication causale et l'évaluation des risques, nécessitent la production intensive à long terme de données quantitatives tandis que la science civique utilise des renseignements généraux clairement structurés. La science civique incorpore des informations générales et des connaissances interdisciplinaires acquises sur une longue période chez un public informé. L'explication causale offre des avantages en ce qui concerne les évaluations rétrospectives tandis que d'autres approches, par exemple les comités d'experts et le principe de la prudence, sont plus utiles pour les problèmes nouveaux (situations prospectives). D'autres points touchent à l'ampleur du problème convenant à chaque approche, aux exigences inhérentes en matière d'informations interdisciplinaires, à la documentation et à la production de rapports en cas d'incertitude et aux différents types d'utilisateurs ou d'auditoires principalement concernés par chaque approche.

Le tableau présente également sous forme sommaire la conclusion suivant laquelle les sciences causales, l'évaluation des risques et la science civique sont toutes des secteurs où les travaux se font à long terme, souvent sur une trop longue période pour bon nombre des décisions nécessaires à la protection de la qualité de l'eau dans les Grands Lacs. Dans la mesure où les questions stratégiques sont de première importance, il est possible de planifier, de gérer et de concevoir les évaluations des risques et les comités d'experts expressément à des fins stratégiques tandis que les sciences servant à établir les relations de cause à effet conviennent le mieux aux évaluations utilisées par les

milieux scientifiques. Les relations causales, lorsqu'elles sont établies, sont incorporées dans la détermination des dangers et dans les estimations des relations dose-réponse utilisées pour l'évaluation des risques. Les évaluations qui font appel à des groupes d'étude ou à des comités permettent habituellement d'éviter les problèmes des coûts importants et des analyses à long terme, mais elles n'ont pas la capacité de produire de nouvelles données critiques, comme c'est souvent nécessaire pour régler les différences entre diverses études. Les conclusions signalées par les comités renvoient souvent à de vastes zones d'incertitude, résultant non seulement des incertitudes au niveau des mesures et des modèles mais aussi des différences chez les personnes quant à l'interprétation de l'information. Plusieurs des approches, y compris notamment l'évaluation des risques et les comités d'experts, ont pour but d'expliquer : (1) les incertitudes; (2) le niveau probable de tolérance à l'égard des risques dans le public; (3) les coûts pour la société de l'absence de mesures (et des risques de dommages qu'il serait sinon possible d'éviter) ou de mesures inappropriées ou trop hâtives (et qui pourraient causer des dommages ou entraîner des coûts inutiles) et (4) d'autres aspects de mesures pratiques qui contribuent à la prise de décisions éclairées en matière de gestion des risques.

Les trois contextes pour l'élaboration d'une politique en matière de gestion des risques exposés au tableau 3, à savoir le principe de la prudence, la science civique et le fardeau de la preuve, doivent tous être considérés en fonction du grand intérêt du public à l'égard de la santé, de l'intégrité de l'environnement, des ressources, des valeurs morales et du bien-être économique, sans être officiellement incorporés à la méthode de gestion des risques, laquelle sert à décrire les fondements scientifiques. Les jugements portés dans le domaine de la science civique sont le fruit de procédés publics appartenant à la réalité. Même s'ils laissent entendre que la décision ou le consensus sont du ressort du public, il ne s'agit pas d'un processus décisionnel dans le sens habituel. Au contraire, les politiques et les pratiques des institutions publiques en viennent finalement à refléter les jugements portés. Le rapport du CCS intitulé *Our Community, Our Health: Dialogue Between Science and Community* (CMI, 1994) expose le processus en cours de réalisation.

Le principe de la prudence s'applique probablement le mieux aux situations où l'on possède peu d'information pour les approches de la science civique ou de l'évaluation des risques mais où le public manifeste très peu de tolérance quant au risque de dommages futurs. Le nouveau consensus public, à savoir l'interdiction totale des déversements, dès que possible, dans le bassin du lac Supérieur, est un exemple d'une approche prudente à l'égard de la protection de cet écosystème tandis que l'efficacité de la mise en oeuvre de restrictions similaires à terre autour des autres Grands Lacs reste à débattre dans un contexte plus large.

Le fardeau de la preuve, au sens le plus strict, est un terme abrégé relatif aux conventions à caractère juridique qui guident le jugement et l'établissement du fardeau de la preuve, en vue de décisions basées sur un vaste ensemble probant réunissant les valeurs des milieux scientifiques et du public. Donc, le terme «fardeau de la preuve» décrit à la fois un processus, l'établissement du fardeau de la preuve et la prise de décision. Il comprend également la notion d'étape finale du processus. Cependant, toutes les étapes de l'évaluation, tant dans les milieux scientifiques que dans le public, comprennent l'établissement du fardeau de la preuve ainsi que les décisions fondées sur celle-ci prises à titre personnel ou dans l'intérêt des résidents, mais dans le secteur des Grands Lacs, il n'est pas nécessaire de mêler ces processus contributifs généraux aux grandes résolutions prises en vertu de l'Accord sur la qualité de l'eau, comme seule peut le faire la Commission.

Il faudrait considérer ces observations ou ces conclusions quant au processus comme tel et les décisions finales par rapport aux différents niveaux de preuve que la société accepte pour différents types de jugements ou de décisions. Nous appliquons la notion «hors de tout doute raisonnable», d'où l'incertitude est essentiellement éliminée, pour les décisions concernant les peines imposées pour des crimes capitaux. Cependant, nous utilisons simplement la «prépondérance de la preuve crédible», qui tolère une grande dose d'incertitude, pour de nombreuses décisions en droit administratif. La Commission devrait-elle utiliser la notion «hors de tout doute» pour les recommandations dont la mise en oeuvre pourrait coûter à la société des centaines de millions de dollars dans le cadre de la dépollution? Ou bien ces décisions (ou celles prises par les scientifiques ou par les comités d'experts) peuvent-elles se fonder sur la «prépondérance de la preuve crédible»? Par contre, est-ce qu'une preuve «hors de tout doute» est nécessaire pour agir avec prudence et rapidité en vue de prévenir la modification à grande échelle, subtile et irréparable de la santé humaine ou des ressources naturelles? Ces choix impliquent le libre arbitre et ils font entrer en jeu l'expression critique des valeurs sociétales que nous nous sommes efforcés de souligner dans le présent rapport mais sur lesquelles nous ne formulons aucune recommandation. Nous affirmons simplement que chaque décision soit s'appuyer sur une base clairement établie.

Si l'on peut formuler une recommandation sommaire à partir de l'information contenue dans ce rapport, elle s'énoncerait comme suit : l'approche fondée sur le fardeau de la preuve pour l'élaboration des politiques exposée dans deux rapports bisannuels de la Commission mixte internationale, et à laquelle de nombreux intéressés ont été invités à prendre part, est trop générale et globale pour être utilisée avec succès dans l'ensemble des communautés de la CMI. Dans la mesure où le fardeau de la preuve renvoie aux propres résolutions de la Commission, compte tenu de l'éventail complet des apports fournis bisannuellement à la Commission, il s'agit d'une utilisation appropriée d'un terme bien établi. Il serait conforme aux utilisations antérieures s'il était réservé aux processus bien documentés des membres de la Commission. La grande famille de la CMI, qui établit réellement le poids des preuves techniques et qui interprète les valeurs du public, fournit des apports importants à l'établissement du fardeau de la preuve par les commissaires, mais il faudrait faire la distinction entre ces apports et les processus suivis et les résolutions finales de la Commission. Suivant un concept global plus satisfaisant, il faut faire la distinction entre deux éléments fonctionnels différents : les évaluations (de toutes sortes) des intérêts des milieux scientifiques et du public par les scientifiques, les entreprises, les organisations non gouvernementales et le public, à titre d'apports, et l'établissement du poids du dossier complet et la détermination des recommandations stratégiques par la Commission elle-même.

Table 3.
Comparaison des approches pour l'évaluation et la prise de décisions

POINTS CONSIDÉRÉS POUR ÉVALUATION	ÉVALUATION SCIENTIFIQUE			GESTION DES RISQUES		
	ÉVALUATIONS ÉPIDÉMIOLOGIQUES (Causalité)	ÉVALUATION DES RISQUES	MÉTHODES PAR CONSENSUS/COMITÉS D'EXPERTS	PRINCIPE DE LA PRUDENCE	SCIENCE CIVIQUE	FARDEAU DE LA PREUVE
1. Composants ou caractéristiques de l'information	Ordre chronologique Uniformité Cohérence Spécificité Solidité des associations Prévision du rendement Plausibilité	Détermination des dangers Évaluation de l'exposition (importance des sources) Dose-réponse (à la fois expér. et épidém.) Caractérisation des risques	Recours à un comité d'experts et aux connaissances scientifiques .	Risques et valeurs publiques énoncés	Reconnaissance du jugement des experts et du public informé	Données disponibles
2. Utilisateurs/ Auditoire	En majorité des scientifiques	Responsables de l'élaboration des politiques/décideurs bureaucrates/politiques	Responsables de l'élaboration des politiques/décideurs	Public et responsables de l'élaboration des politiques/ décideurs	Public informé/responsables de l'élaboration des politiques et décideurs	Commissaires et parties
3. Avantages/ Inconvénients	Abondance des données	Abondance de données	Réalisable maintenant	Possibilité de mise en oeuvre rapide	Processus à long terme pour faire consensus	Réalisable maintenant
4. Facteur unique/ Facteurs multiples	Souvent facteur unique	Tendance vers facteurs multiples	Facteurs multiples	Facteurs multiples	Facteurs multiples	Facteurs multiples
5. Hypothèse	Formulation explicite pour établissement des associations	Formulation explicite pour caractérisation des facteurs causals	Soutien par consensus	Prudence nécessaire	Processus décisionnel complet	Établissement du poids de toutes les informations pertinentes
6. Applicabilité à différentes échelles	Tendance vers l'universalité scientifique	Conçu pour être compris sur une grande échelle et pertinent à l'échelon national et international	Conçu pour être compris sur une grande échelle	Conçu pour inclusion des effets sociaux et à long terme	À grande échelle et complet de façon inhérente	Souple
7. Incertitude résiduelle	Minimale	Grande mais explicite	Grande et peut être explicite	Grande mais non explicite	Grande	Grande ou petite mais rendue explicite
8. Jugements de valeur	Étape de la conception	Utilisation d'éléments de modification des facteurs de risque et des études	Sélection des comités/ Résultats biologiques	Valeurs sociétales/ Limites géographiques et temporelles	Valeurs professionnelles et disciplinaires	Plus grande transparence des valeurs
9. Par où commencer?	Hypothèse causale «sans effets»	Détermination du risque apparent pour la santé ou le bien-être	Préoccupations du public	Incertitude quant aux résultats graves	Interdisciplinaire	Quelques données disponibles et mesures nécessaires

2.3.6 Recommandations

- **Attendu que les décisions concernant la santé humaine et la salubrité de l'écosystème doivent souvent être prises malgré des incertitudes d'ordre scientifique et stratégique, attendu que les conséquences de mauvaises décisions varient de bénignes à catastrophiques et attendu que l'approche fondée sur le fardeau de la preuve comporte les étapes de la caractérisation des risques et de l'évaluation des risques du processus décisionnel, le Conseil consultatif scientifique recommande que :**

  - la caractérisation scientifique des risques comprenne officiellement la divulgation (1) des choix enchâssés dans la conception des recherches à l'appui; (2) des modificateurs des facteurs de risque utilisés; et (3) de toutes les incertitudes pertinentes
  - la caractérisation des risques effectuée pour la prise de décisions relatives à l'environnement examine de façon explicite les conséquences indirectes possibles découlant des caractéristiques des dangers, des voies et de la réaction du milieu récepteur, comme il est mentionné à l'annexe I de la présente section
  - les décideurs cherchent à obtenir ou recommandent des évaluations des valeurs pertinentes, des analyses légales et réglementaires, des évaluations socio-économiques, des analyses d'équité, des analyses éthiques et des évaluations des impacts cumulatifs en tant qu'apports nécessaires aux décisions en matière de gestion des risques.

- **Attendu que les recommandations de la Commission concernant les politiques environnementales formulées à l'intention des parties nécessitent une bonne compréhension et un bon appui de la société, attendu que les incertitudes et les conséquences négatives possibles de l'action ou de l'inaction font partie du processus décisionnel s'appuyant sur le fardeau de la preuve et attendu que les priorités en matière de santé humaine et d'intégrité des écosystèmes peuvent parfois entrer en conflit, le Comité consultatif scientifique recommande que :**

  - les décisions de la Commission fondées sur le fardeau de la preuve fassent clairement état de la preuve utilisée, des hypothèses, des valeurs, des incertitudes et des conséquences en jeu
  - le niveau de preuve requis (hors de tout doute raisonnable, ou selon toute probabilité) soit clairement indiqué
  - le risque posé par l'inaction soit pris en compte dans les débats concernant la gestion des risques
  - les recommandations et les décisions de la Commission fondées sur le fardeau de la preuve comportent des décisions parallèles concernant la surveillance raisonnable nécessaire pour l'évaluation des progrès vers le but souhaité ou, au contraire, à titre d'indicateur d'une mauvaise décision
  - les recommandations et les décisions de la Commission fondées sur le fardeau de la preuve, de par leur nature provisoire, englobent des stratégies claires pour une coopération en continu entre les scientifiques et les gestionnaires
  - le développement futur d'une base éthique pour l'organisation et l'établissement de l'ordre de priorité des buts en matière de santé humaine ou d'intégrité de l'environnement, en cas de conflit possible entre ces buts, soit entrepris.

Annexe I

Menaces de dommages graves ou irréversibles

Dans le but de donner des lignes directrices claires pour cerner les menaces de dommages graves ou irréversibles, nous avons mis en évidence les principales caractéristiques du risque, de l'exposition ou des voies d'exposition, ainsi que des effets biologiques qui pourraient servir d'éléments d'identification.

Justification de l'utilisation de 2.3.
D'après les caractéristiques de la substance chimique toxique ou du risque

Les caractères du risque environnemental proprement dit — par exemple les caractéristiques spécifiques de la substance toxique évaluée sous le rapport de ses effets nocifs tant sur l'écosystème que sur la santé humaine ou de sa présence dans le milieu, sa cinétique dans le milieu et au sein de l'espèce hôte, etc. — peuvent justifier des efforts d'évitement prudent de la part des décideurs tant que l'on n'aura pas levé tous les doutes scientifiques.

Caractéristiques principales du risque

- **Toxicité** : selon la définition traditionnelle, aptitude du risque à engendrer, à très faible exposition, des effets nocifs chez une espèce hôte. Il faut également tenir compte d'un facteur d'ordre plus qualitatif, mais souvent crucial, la portée totale et la profondeur des effets qui se font sentir au niveau cellulaire et infracellulaire ainsi qu'à celui des systèmes d'organes multiples et qu'on a attribués au risque, souvent principalement dans le cadre de travaux de laboratoire et d'études expérimentales chez l'animal. Autrement dit, certains risques environnementaux sont particulièrement «inquiétants», non seulement parce qu'ils exercent des effets spécifiques sur la santé à très faible exposition, mais encore parce qu'ils semblent «mettre en marche» dans l'organisme tout entier des mécanismes cellulaires et infracellulaires. Citons par exemple l'effet de certains composés organochlorés sur les récepteurs endocriniens d'un large éventail de cellules des mammifères ou celui des radionucléides à faible dose, capables de déclencher un effet inflammatoire en cascade. On peut considérer d'autres risques, tels celui d'une invasion d'espèces exotiques ou du dragage des voies navigables, comme analogues à la toxicité par l'ampleur de leurs impacts.

- **Persistance dans l'environnement** : tendance du produit à ne pas se décomposer avec le temps en substances inoffensives et continuité de sa biodisponibilité, en ce sens que n'étant pas séquestré dans des endroits inoffensifs, il est probable qu'il sera exposé en permanence à différents biotes.

- **Incurabilité de la charge environnementale** : que l'on ne puisse séquestrer certains risques environnementaux par des interventions artificielles ou des mesures délibérées

conçues pour empêcher leur présence dans le milieu d'exercer des effets nuisibles supplémentaires est une notion du même ordre que celle que nous mentionnons ci-dessus, mais distincte. Par ailleurs, s'il est possible sur le plan matériel et économique d'«enfermer hermétiquement» un contaminant chimique (par exemple, dans une couche bien précise de sédiment du fond lacustre) dans des conditions bien circonscrites, ce problème est manifestement beaucoup moins préoccupant.

- **Dispersibilité mondiale** : la capacité qu'ont certains contaminants dangereux de l'environnement, tels les BPC ou le carbone-14 rejeté par les centrales nucléaires, de se disperser sur toute la planète en raison de leurs caractéristiques chimiques spécifiques et de leur faculté de bioaccumulation — par exemple, leur faible tension de vapeur, leur tendance à s'introduire dans les chaînes trophiques pour certaines espèces qui entreprennent de vastes migrations ou leur rôle de produit chimique essentiel dans tous les organismes vivants — s'apparente à la caractéristique ci-dessus, mais en est également assez distincte. Ainsi, le carbone est un élément fondamental de la vie et s'intègre aux organismes sous sa forme radioactive ou non radioactive.

- **Tendance à la bio-amplification** : toujours dans le même ordre d'idée, cette notion s'en distingue toutefois. Certains composés subissent une bioconcentration en remontant la chaîne alimentaire jusqu'aux prédateurs situés au sommet de l'échelle. Cette tendance a d'importantes répercussions pour les êtres humains, qui se situent rarement très bas dans la chaîne trophique, mais également pour l'écosystème dans son ensemble, par exemple au chapitre des «effets de la chaîne alimentaire» (voir plus loin).

- **Interactions incertaines avec d'autres expositions ambiantes ou généralisées** : notion bien connue du «bouillon environnemental de contaminants mélangés dont on ignore en partie la nature et la concentration». On est rarement bien informé à cet égard, mais les données scientifiques laissent parfois entendre que les interactions ont toutes chances d'être considérables et répandues sur le plan biologique.

Caractéristiques des voies d'exposition ou de l'exposition qui exigent le respect du principe de sécurité

Les circonstances précises de l'exposition ou celles des voies d'exposition qui conduisent aux effets estimés sur les écosystèmes ou la santé humaine — par exemple la durée nécessaire pour produire des effets, les degrés respectifs d'exposition délibérée et involontaire des êtres humains, etc. — peuvent se révéler d'importants facteurs pour déterminer si les dommages éventuels suffisent à justifier une intervention pour motif d'évitement prudent.

Caractéristiques de l'exposition proprement dite ou de la voie d'exposition

- **Capacité de l'exposition brève (dose unique/en bolus) de produire des effets considérables** : les risques qui semblent capables de produire des effets nocifs disproportionnés sur les individus ou les écosystèmes malgré une exposition très limitée dans le temps, susceptible de se produire à un stade vulnérable du développement de l'individu ou de l'espèce, sont particulièrement inquiétants. On pourrait donner comme exemple la sensibilité manifeste du foetus du rat (et de celui d'autres espèces) aux concentrations de dioxine transmises *in utero* après ne fût-ce qu'un repas additionné d'une faible dose de dioxine. Citons aussi, dans un cadre différent, des travaux de construction qui, entrepris pendant la période de frayage, pourraient être sensiblement plus néfastes pour l'écosystème qu'à un autre moment du fait des BPC détachés des sédiments et remis en suspension.

- **Présence généralisée de voies d'exposition involontaires qui aboutissent au phénomène de la «victime sans défense»** : les expositions omniprésentes, mais mal connues du grand public, sont bien entendu plus préoccupantes parce que les individus, du fait de leur ignorance, ne peuvent délibérément limiter les risques qu'ils courent personnellement. Quand l'exposition se fait, par exemple, par l'entremise de denrées alimentaires nutritives ordinaires, les préoccupations sont aussi bien d'ordre quantitatif que moral. Beaucoup de contaminants répondent à cette description, notamment les nombreux pesticides utilisés dans les cultures de fruits et de légumes.

- **Existence de voies d'exposition multiples et complexes** : cette caractéristique de certains contaminants de l'environnement suscite des inquiétudes parce qu'elle donne à entendre qu'il est impossible de réduire l'exposition globale de la population par une simple mesure de protection de la santé publique. En l'occurrence, les biphényles polychlorés semblent représenter un risque environnemental de cet ordre au niveau mondial. Le tritium rejeté dans l'atmosphère ou dans l'eau et capable de s'intégrer aux molécules d'ADN de tous les tissus vivants offre lui aussi une voie d'exposition multiple et complexe.

- **Tendance des êtres humains eux-mêmes à faciliter l'exposition par leurs activités régulières, d'ordre économique entre autres** : certains pourraient considérer cette tendance comme une possibilité de voir s'accroître les efforts de prévention, mais si l'on peut réduire ces activités, elles risquent de prendre un jour de l'expansion pour des raisons économiques ou autres et partant, représentent une menace d'exposition croissante. Ainsi, le dragage des chenaux, en libérant des contaminants précédemment séquestrés à l'écart de divers biotes sensibles, recèle un potentiel d'exposition supplémentaire et de dommages consécutifs pour les populations vulnérables.

Effets biologiques importants qui exigent l'application du principe de sécurité

Les caractéristiques des effets biophysiques éventuels ou prouvés qu'on a rattachés à l'exposition ambiante en question — telles leur nature propre, la relation dose-effet, etc. — peuvent également exiger un évitement prudent. Ces caractéristiques servent également à définir les situations qui recèlent un potentiel de dommages suffisant pour justifier la décision volontaire d'agir ou de ne pas agir.

Caractéristiques des effets biologiques importants sur toutes les populations

A. Effets intra-organismes

- **Gravité, réversibilité et côté pernicieux des effets eux-mêmes (y compris la tendance à les traiter un peu, ou pas du tout)** : les politiques d'intérêt public doivent répondre aux préoccupations suscitées par les effets pernicieux et incurables sur la santé. Le cancer des tissus solides chez les enfants ou les adultes en est un exemple fort clair. On pourrait également citer les effets subtils sur le développement neurologique des enfants qui risquent de compromettre l'aptitude de ces derniers à jouer leur rôle d'adulte, et plus particulièrement à se comporter en citoyens productifs et en parents de la prochaine génération. La notion d'irréversibilité des effets est étroitement apparentée à celle-ci et ne s'en distingue pas.

- **Courbes dose-effet non linéaires et sans seuil mal comprises** : la dose à laquelle les effets de nombreux risques environnementaux commencent à se faire sentir est mal connue; nous avons peut-être mal évalué les concentrations ambiantes de ces substances dangereuses.

- **Existence possible d'une relation dose-effet telle qu'il n'y a pas de dose à «effet nul»** : sujet qui suscite beaucoup de controverses dans la littérature du cancer depuis des décennies; on peut avancer qu'il y a, pour des substances dangereuses et des phénomènes physiques, des courbes dose-effet qui continuent à montrer l'existence d'effets nocifs, même à des microdoses que nous ne pouvons mesurer, de sorte qu'il n'y a pas de seuil en dessous duquel l'exposition est «sans danger» à proprement parler.

- **Effets particulièrement «changeants» ou «pléiotropes» sur le fonctionnement de l'organisme** : on entend par là la réduction de la faculté de remplir les fonctions métaboliques de base ou de défense de l'organisme, comme on le constate dans l'immunosuppression. Le problème, en l'occurrence, est qu'on peut sous-estimer les effets bénins de ce genre parce qu'ils ne se manifestent parfois que par des symptômes et des signes assez peu spécifiques, par exemple l'augmentation des infections opportunistes en ce qui concerne l'immunosuppression (témoin les premiers temps de l'épidémie de sida) (voir ci-dessous «agents pathogènes opportunistes»).

- **Persistance biocumulative des charges corporelles de substance toxique avec probabilité d'effets retardés ou latents pendant toute la vie** : peut-être ne voyons-nous que la partie émergée de l'iceberg en ce qui concerne les effets de l'exposition dans les études à court terme, parce que nous ne disposons pas, pour un grand nombre de sujets, d'un suivi qui s'étale sur des décennies. Citons comme notion étroitement apparentée la présence de «cascades» primaires, secondaires et tertiaires d'effets biochimiques, physiologiques et fonctionnels de l'exposition aux substances dangereuses.

- **Étendue des répercussions qu'ont, sur l'organisme des individus en matière de reproduction ou de survie, les effets spécifiques de l'exposition à des substances dangereuses sur la santé et le comportement** : dans le même ordre d'idée que ce que nous exposons ci-dessus, nous nous inquiétons davantage si les effets de l'exposition sur un organisme quelconque compromettent le succès de sa reproduction ou la capacité de survivre de l'espèce.

B. Effets intraspécifiques interorganismes

- **Possibilités de rupture démographique de l'espèce tout entière** : si nous repartons du point que nous venons de mentionner, la quasi-extinction elle-même d'une espèce peut souvent exercer des effets de cascade massifs à l'intérieur d'un écosystème.

- **Transfert entre générations** : ce transfert est activé par divers mécanismes, le meilleur exemple en étant peut-être le potentiel qu'ont les mammifères d'influer sur leur progéniture par changement des gamètes et du génome, exposition transplacentaire, évolution de l'allaitement maternel (du point de vue du contenu chimique ou de la nature de la lactation) et les conséquences de la perturbation des compétences parentales à élever des rejetons.

C. Effets interspécifiques et sur l'écosystème dans son ensemble

- **Effets de cascade imprévus et disproportionnés dans un écosystème au complet** : on pourrait en donner comme exemple les effets exercés sur la chaîne trophique, par exemple les modifications profondes subies par les populations d'autres espèces ou des densités occasionnées par la disparition d'un prédateur de bout de chaîne. Sont plus inquiétants en raison du niveau «métabolique» profond auquel ils opèrent dans une communauté d'organismes les changements subtils qui marquent les cycles des substances nutritives, comme on a pu le prouver pour l'azote dans les forêts polluées, et causent une «fuite» insidieuse d'aliments dans l'écosystème local, ce qui a de graves répercussions sur sa pérennité.

- **Présence de signaux trompeurs qui pourraient persuader les observateurs mal informés de la viabilité de l'écosystème mais annoncent en fait le contraire** : citons par exemple l'envahissement des espèces immunodéficientes par des agents pathogènes opportunistes quand l'immunodéficience elle-même est causée par des contaminants ambiants. Certains observateurs auraient tendance à dire qu'un «nouveau microbe a fait son apparition», alors qu'en fait, l'agent pathogène qui a profité de la situation ne fait que réagir à de subtils changements dans les capacités de défense de son hôte. Citons les pathogènes qui déciment actuellement les robiniers faux-acacias dans les Appalaches. Mentionnons également l'explosion de certaines populations, que des observateurs peu avertis pourraient prendre pour un signe de santé de l'écosystème; c'est le cas des goélands dans les Grands Lacs. Les observateurs naïfs peuvent aussi voir sous ce jour l'explosion démographique d'espèces exotiques.

Citons enfin les cas où, dans le domaine de la santé, la courbe dose-effet propre à un contaminant du milieu est «hermétique», en ce sens que l'agent semble nécessaire à la santé à faible dose, mais devient toxique à forte dose, comme il en va des micro-éléments (vitamines et minéraux).

2:4 MÉCANISMES TOXICOLOGIQUES EXPOSITION AMBIANTE AUX AGENTS CHIMIQUES AGISSANT COMME MODIFICATEURS ENDOCRINIENS

2.4.1 Énoncé du problème

Les recherches chez les animaux prouvent clairement que de nombreux produits chimiques présents dans l'environnement peuvent modifier les fonctions de reproduction activées par le système endocrinien. On trouvera au tableau 4 une liste partielle de ces produits chimiques.

On a prouvé que ces substances chimiques et d'autres produisaient chez les animaux sauvages et les animaux de laboratoire des effets généralisés sur le système endocrinien. En fait, on a montré que presque tous les organes endocriniens étaient touchés. Parmi ces effets, citons l'hypertrophie de la glande thyroïde chez les poissons des Grands Lacs, l'altération de facultés de reproduction des oiseaux piscivores ainsi que le raccourcissement du pénis et la modification de la maturation sexuelle chez les alligators de Floride. Le lecteur qui souhaite une liste et une discussion plus complètes de ces effets endocriniens dans les Grands Lacs consultera l'ouvrage publié en 1992 par Theo Colborn et Coralie Clement : *Chemically-Induced Alterations in Sexual and Functional Development: The Wildlife/ Human Connection.*

Les êtres humains exposés accidentellement à de fortes concentrations de certains de ces produits chimiques présentent également une altération des fonctions endocrines. Ainsi, on a soumis des garçons et des filles exposés à de fortes concentrations de BPC et de dibenzofurannes polychlorés (PCDF) à des études préliminaires (Guo *et al.*, sous presse) et l'on a constaté que les garçons exposés avaient le pénis plus court que la normale. Les garçons, mais non les filles, présentent une aptitude moindre à saisir les relations spatiales, fonction normalement mieux développée chez les hommes que chez les femmes.

Si les animaux exposés à ces produits chimiques dans la nature voient leurs fonctions endocrines et génésiques modifiées et si les humains qui y sont exposés à forte concentration voient leur maturation neuroendocrinienne, endocrinienne et sexuelle modifiée, quels sont, s'il en est, les effets de ces agents chimiques sur le public en général? L'idée que la population dans son ensemble puisse subir des modifications des fonctions endocrines et génésiques, comme c'est le cas pour la faune, est très troublante. Plusieurs observations indiquent que les fonctions endocrines de la population en général sont peut-être touchées par des sources inconnues ou non décelées. Ces rapports

Tableau 4.
Quarante-huit agents chimiques très répandus dans l'environnement, qui dérégleraient les systèmes génésique et endocrinien

HERBICIDES	FONGICIDES	INSECTICIDES	NÉMATOCIDES	PRODUITS CHIMIQUES INDUSTRIELS
2,4-D	Bénomyl	ß-HCH	Aldicarbe	Cadmium
2,4,5-T	Hexachlorobenzène	Carbaryl	DBCP	Dioxine (2,3,7,8-TCDD)
Alachlore	Mancozèbe	Chlordane		Plomb
Amitrole	Manèbe	Dicofol		Mercure
Atrazine	Métirame (complexe)	Dieldrine		PBB
Metribuzine	Tributylétain	DDT et métabolites		BPC
Nitrofène	Vinclozine	Endosulfan		Pentachlorophénol
Trifluraline	Zinèbe	Heptachlore et époxyde d'heptachlore		Du pentaphénol au nonylphénol
	Zirame	Lindane (ã-HCH)		Phthalates
		Malathion		Polycarbonates
		Méthomyl		Styrènes
		Méthoxychlore		
		Mirex		
		Oxychlordane		
		Parathion		
		Pyréthroïdes de synthèse		
		Toxaphène		
		Transnonachlore		

Source : Colborn, T. , vomSaal, F.S. et Soto, A.M., 1993, Developmental Effects of Endocrine-Disrupting Chemicals in Wildlife and Humans. Environ. Health Perspectives. 101:378-384.

avancent l'hypothèse, très contestée, que la numération des spermatozoïdes aurait diminué chez les adultes dans les quelques dernières décennies (Carlsen *et al.*, 1992; Olsen *et al.*, 1995; Auger *et al.*, 1995; Sherins, 1995), que les anomalies des spermatozoïdes se seraient multipliées (Auger *et al.*, 1995), que la fréquence du cancer des testicules et de la prostate aurait augmenté, ainsi que celle de la cryptorchidie (rétention des testicules dans la cavité abdominale) chez les enfants. On ignore la cause des changements ainsi observés chez les humains, mais il est possible que ces effets soient dus à l'exposition ambiante aux produits chimiques.

Une étude récente corrobore l'idée que l'exposition ambiante aux produits chimiques exerce un effet sur les fonctions endocrines de la population en général. Koopman-Esseboom *et al.* (1994) ont étudié le fonctionnement thyroïdien de nourrissons et de mères domiciliés dans une région industrialisée des Pays-Bas. Ils ont découvert une corrélation entre les charges corporelles estimées de BPC et de dioxines d'une part et l'altération de la fonction thyroïdienne chez la mère et l'enfant.

On a étudié les mécanismes par lesquels l'exposition ambiante aux agents chimiques exerce un effet sur les fonctions endocrines de l'ensemble de la population. Si les mécanismes d'action possibles sont nombreux, le plus courant est peut-être la faculté qu'ont beaucoup de produits chimiques d'agir comme agonistes ou antagonistes des hormones naturelles et de se lier avec leurs récepteurs. Par exemple, certains BPC peuvent faire office d'oestrogènes ou d'anti-oestrogènes, selon le degré d'exposition à tel ou tel congénère des BPC.

2.4.2 Symposium de Wingspread parrainé par la CMI

Compte tenu des données nouvelles, de la complexité du système endocrinien et des répercussions éventuelles de la modification de ce système sur d'autres systèmes d'organes ainsi que de la fréquence et des manifestations des maladies, la **Commission mixte internationale** (CMI) a parrainé à Wingspread un symposium sur les effecteurs endocriniens. On y a fait le point des connaissances sur l'interaction entre les état pathologiques et d'autres systèmes d'organes d'une part et le système endocrinien d'autre part. La rencontre avait également pour but de déterminer les études les plus importantes à entreprendre, les paramètres sensibles à utiliser dans ces études et les populations cruciales à étudier.

Les sujets de préoccupation étudiés étaient les suivants : les effets des modificateurs endocriniens sur les cancers sensibles aux sécrétions internes et les cancers des glandes endocrines; les fonctions immunitaires; les fonctions neurocomportementales; la reproduction; le développement de la maturation sexuelle et le système endocrinien lui-même. On a comparé les études effectuées chez l'homme et chez l'animal. Les populations humaines ont été jugées utiles à étudier pour faire avancer les connaissances scientifiques, mais dans l'intérêt des sujets étudiés eux-mêmes. De plus, on a parlé de l'interaction possible entre les facteurs d'agression qui agissent sur une population et les fonctions endocrines, ainsi que de la biologie moléculaire des récepteurs d'oestrogènes.

Le compte rendu intégral et une vue d'ensemble de chaque sujet abordé, ainsi que la déclaration générale du symposium, doivent être publiés cet automne ou en début d'hiver dans un supplément spécial de la revue internationale à comité de lecture scientifique *Toxicology and Applied Pharmacology*. Nous incluons toutefois dans le présent chapitre deux informations issues du symposium de Wingspread. La première est l'énoncé général des effets hormonaux sur les fonctions neurocomportementales. Nous présentons cet aperçu pour montrer la complexité des aspects scientifiques et les nombreux facteurs dont il faut tenir compte pour élaborer les études qui conviennent chez les animaux et l'homme.

La seconde information qui nous vient du symposium est une série de recommandations de recherche, appuyées par le Groupe de travail sur la santé de l'écosystème et le Conseil consultatif scientifique.

2.4.3 Énoncé général du symposium de Wingspread (13 et 14 janvier 1995) — Effets des hormones sur les fonctions neurocomportementales : priorités des recherches futures

Un sous-groupe[1] du symposium a conclu dans l'ensemble que la toute première priorité des travaux futurs sur les effets endocriniens de l'exposition ambiante aux agents chimiques était d'élaborer des stratégies de recherche fondées sur une analyse plus perfectionnée des résultats comportementaux et endocriniens qui pourraient être influencés par l'exposition ambiante à des agents hormono-actifs.

Une bonne partie des travaux réalisés jusqu'à présent se sont concentrés sur un ensemble restreint de réactions fortement marquées par le dimorphisme sexuel (par exemple le comportement sexuel et les schèmes de sécrétion de la gonadotrophine) dans les systèmes modèles de petits animaux. Ces systèmes modèles offrent de considérables avantages : ils sont normalisés, mettent en cause des mécanismes cellulaires bien caractérisés et sont assez peu coûteux. Toutefois, ils présentent également de sérieux inconvénients qui limitent la portée et l'interprétation des travaux. Ils dépendent fortement des stéroïdes gonadiques (particulièrement les oestrogènes) et sont moins sensibles aux effets qui peuvent mettre en jeu d'autres mécanismes hormonaux. Ce qui est peut-être le plus important, c'est qu'il n'est pas facile d'appliquer par extrapolation aux mammifères supérieurs, êtres humains compris, les effets sur le comportement sexuel et la sécrétion de gonadotrophine des rongeurs de laboratoire. Les résultats de la différenciation sexuelle des rongeurs — aptitude à supporter la sécrétion cyclique de gonadotrophine et les réflexes du comportement sexuel, tels la lordose — les plus couramment utilisés n'ont pas de parallèles évidents chez les primates. On peut donc contester la nature et la portée des risques de développement que les agents ambiants à action hormonale font courir aux êtres humains. Le problème est cependant en grande partie d'ordre sémantique. Il est incontestable que les substances hormono-actives sont capables d'agir sur le développement humain; la difficulté consiste à déterminer les résultats expérimentaux qui peuvent livrer des données significatives pour l'évaluation des risques cliniques et environnementaux réels de l'exposition à d'éventuels polluants chimiques à action endocrine.

1 Les membres du sous-groupe sont Neil J. MacLusky, Ronald J. Barfield et David E. Sandberg.

Le sous-groupe a étudié ces questions eu égard à trois domaines de recherche : physiologie animale, écologie de la reproduction en psychoneuroendocrinologie humaine.

- **Physiologie animale**

La toute première priorité doit aller à l'examen des effets de l'exposition à des agents chimiques de l'environnement à l'aide de résultats comportementaux différenciés selon le sexe, résultats sensibles aux changements de l'activité intégrée du cerveau, et non de simples résultats endocriniens ou comportementaux réflexes. Les comportements plus complexes, qui font intervenir le **système nerveux central** (SNC), semblent plus régulièrement touchés que les fonctions réflexes plus simples par l'exposition aux hormones de développement chez toutes les espèces de mammifères. Par exemple, il existe des preuves indéniables que le comportement ludique juvénile est sexuellement différencié, le mâle se livrant à des jeux plus énergiques et plus mouvementés que les femelles dans des espèces aussi différentes que le rat, le singe rhésus et l'être humain. De même, la latéralisation du cerveau — l'association privilégiée des fonctions avec l'hémisphère cérébral gauche ou droit — est influencée chez les rongeurs comme chez les primates par l'exposition précoce aux stéroïdes gonadiques.

Le sous-groupe a déterminé plusieurs types de tests de comportement qui pourraient servir d'indices plus sensibles des éventuels effets endocriniens de l'exposition ambiante aux agents chimiques :

- le comportement maternel;
- les tests de préférence et de comportement motivationnel de la différenciation sexuelle, et non les tests normalisés plus simple du comportement sexuel des mâles et des femelles utilisés dans la majorité des études;
- le comportement expérimental (sensible aux effets des stéroïdes gonadiques comme des corticostéroïdes)
- les tests cognitifs fondés sur des paradigmes qui montrent les différences entre les mâles et les femelles normaux (surtout ceux qui reposent sur l'acquisition et l'utilisation de l'information spatiale d'origine visuelle).

Des facteurs analogues s'appliquent à l'évaluation des fonctions neuroendocrines. L'aptitude assez «tranchée» à supporter une poussée d'**hormone lutéinisante ovulatoire**[2] (LH) ne s'observe normalement que chez les femelles et par conséquent, a beaucoup servi de résultat de la différenciation sexuelle, mais c'est un résultat au pouvoir de discrimination assez faible dans le cas d'éventuelles perturbations minimes de masculinisation ou de déféminisation. Parmi les autres aspects des fonctions neuroendocrines qui sont sexuellement différenciées et susceptibles d'accuser des effets plus «gradués» de l'exposition aux hormones ambiantes, citons les rythmes circadiens de l'activité motrice et trophique, qui se rattachent pour leur part aux concentrations de corticostéroïdes dans le sérum, ainsi qu'au régime de sécrétion des glucocorticoïdes en réponse à des stimuli normalisés.

2 Hormone à base de protéines et de glucides obtenue dans le lobe antérieur de l'hypophyse et qui, chez la femelle, stimule la formation du corps jaune, en même temps que la gonadotropine, la sécrétion de progestérone et, chez le mâle, le développement du tissu interstitiel des testicules et la sécrétion de testostérone.

Enfin, le sous-groupe a reconnu que malgré tous les paradigmes de test dont on dispose, il était urgent d'étendre les travaux antérieurs à l'analyse de mélanges plus complexes d'agents chimiques, tels ceux qu'on trouve dans le milieu ambiant. Étant donné la possibilité d'une synergie ou d'un antagonisme entre différents composés présents dans l'environnement, les données de laboratoire obtenues à propos des composés isolés sont peut-être dépourvues de sens en évaluation du risque.

- **Écologie de la reproduction**

Le sous-groupe était d'avis que nous pouvions certainement obtenir encore des données précieuses en étudiant sur le terrain l'adaptation du système de reproduction. Manifestement, la collecte de données exactes pose de plus gros problèmes que ce n'est le cas dans le cadre d'un laboratoire, mais ces problèmes sont compensés par la possibilité d'évaluer l'impact des «vrais» mélanges de contaminants de l'environnement. Il pourrait être très utile de comparer la santé générale et la santé du système reproducteur de la même espèce en milieu contaminé et en milieu non contaminé. Outre l'évaluation du nombre total d'animaux et les paramètres évidents des fonctions reproductrices (par exemple la taille des portées, celle des gonades et la morphologie à l'autopsie), ces études devraient comprendre également une évaluation des paramètres qui pourraient être sensibles à de subtils effets environnementaux, endocriniens ou métaboliques (par exemple le rapport des sexes à la naissance et chez les rejetons survivants, la date de début et de fin de la saison de reproduction et le nombre de portées par saison).

- **Psychoneuroendocrinologie humaine**

L'existence de cohortes humaines à exposition ambiante bien définie constitue une ressource d'une utilité incalculable pour la recherche. Un des gros problèmes que pose toutefois la conception d'études éventuelles des effets de l'exposition aux agents chimiques ambiants sur le SNC humain est qu'il est extrêmement difficile de supprimer les effets déroutants possibles. Même pour les différences sexuelles normales, il s'est avéré difficile de dégager les interventions des hormones dans le développement des considérables apports des facteurs sociaux et éducatifs. Il est plus difficile encore de rechercher les effets possibles des contaminants ambiants à action endocrinienne sur les fonctions cognitives humaines. Peut-être sera-t-il impossible de contrôler suffisamment les effets des différences de contexte socio-économique, de possibilités d'instruction et de préjugés introduites par les attentes de la population à l'étude. Le seul fait de savoir que le développement est exposé à des agents chimiques ambiants éventuellement nuisibles peut introduire des effets déroutants susceptibles d'infléchir les tests des fonctions cognitives humaines à un degré plus élevé encore que l'exposition proprement dite à ces agents chimiques.

Aussi les tentatives faites pour déceler les effets possibles des agents chimiques à action hormonale présents dans l'environnement sur le développement du cerveau humain doivent-elles probablement tourner essentiellement autour de variables sexuellement dimorphiques robustes, objectives et assez faciles à mesurer. Le comportement ludique dans l'enfance est une de ces variables. Il est normalement très différencié sexuellement, celui des mâles étant à cet égard plus énergique et plus agité. Cette différence sexuelle résulte de l'exposition aux androgènes pendant le développement; les filles qui ont subi une exposition prénatale excessive aux androgènes par suite du syndrome de l'hyperplasie congénitale des surréna-

les manifestent un comportement ludique semblable à celui des petits garçons normaux. Par conséquent, on peut s'attendre à ce que l'exposition ambiante à des substances chimiques qui font obstacle aux différences sexuelles au chapitre de la sécrétion des hormones stéroïdes ou de leur action se répercute sur les schèmes de comportement ludique.

Le degré de latéralisation des fonctions cérébrales est lui aussi une différence sexuelle robuste; on estime généralement que les mâles présentent une latéralité plus forte que les femelles. On peut obtenir des mesures objectives assez simples de la latéralisation à l'aide de certaines méthodes, par exemple les tests d'écoute dichotique. On pourrait aussi étudier la latéralisation hémisphérique cérébrale et d'autres caractères structurels sexuellement différenciés du cerveau (par exemple dans la zone hypothalamus-préoptique) par l'**imagerie par résonance magnétique** (IRM) ou à l'autopsie chez les patients exposés à des agents chimiques à action endocrine présents dans l'environnement en les comparant à des groupes témoins. On a prouvé par les deux méthodes l'existence de différences sexuelles dans la structure cérébrale des populations humaines normales; on pourrait donc sans doute les utiliser pour vérifier les effets modulateurs éventuels de l'exposition ambiante aux substances chimiques.

On constate également chez les êtres humains des différences sexuelles au chapitre de la fréquence de divers troubles du développement. L'arriération mentale est deux fois plus courante chez les hommes que chez les femmes, alors que l'autisme et d'autres troubles de développement profond accusent un rapport hommes-femmes de trois ou quatre à un. Il faut tenir compte du taux de base assez faible de ces troubles dans toute enquête épidémiologique sur les effets des substances toxiques de l'environnement. Ainsi, l'incidence de l'autisme est de 4,5 à 4,8 sur 10 000 enfants et l'arriération mentale touche d'un à trois pour cent de la population dans son ensemble. Les difficultés d'apprentissage constituent un phénomène plus courant. De 10 à 15 p. 100 de la population d'âge scolaire en sont frappés, et leur rapport hommes-femmes est de deux à cinq sur un. Les différences sexuelles de fréquence et de type de trouble psychiatrique représentent elles aussi un domaine où l'on pourrait évaluer l'influence possible des substances toxiques ambiantes. Ainsi, on diagnostique deux fois plus souvent la dépression chez les femmes que chez les hommes. Les oestrogènes ont été mis en cause dans l'étiologie des dépressions, peut-être par leurs effets sur les enzymes qui interviennent dans le métabolisme des amines biogènes, ainsi que sur les récepteurs des neurotransmetteurs.

2.4.4 Conclusion et recommandations

Chez les animaux, certaines substances chimiques présentes dans l'environnement peuvent exercer toute une gamme d'effets sur le système endocrinien et les systèmes organiques qui répondent aux glandes endocrines. Une question importante se pose donc, celle de déterminer si ces effets s'observent chez les humains en cas d'exposition ambiante ou si on peut raisonnablement les extrapoler.

Le Conseil consultatif scientifique recommande que :

- **les gouvernements, les milieux universitaires, le grand public et l'industrie consentent des efforts concertés pour orienter la recherche de manière à :**

1. déterminer, s'il en est, les expositions ambiantes aux agents chimiques qui sont ou pourraient être des effecteurs endocriniens chez les êtres humains. Quels sont, pour les agents chimiques répertoriés, l'exposition et la relation dose-réponse qui définissent les possibilités d'effets nocifs?

2. déterminer quels sont les effets et la morbidité qui, chez les êtres humains, peuvent se rattacher à une modification endocrinienne due à l'exposition à des agents chimiques présents dans le milieu et à quel stade de développement l'être humain est le plus sensible à ces effets

3. déterminer les mécanismes d'action des expositions ambiantes aux agents chimiques en ce qui concerne la modification endocrinienne et voir comment on peut faire intervenir ces connaissances dans le processus d'évaluation du risque

4. voir si l'on peut concevoir des relations entre la structure et l'activité pour prévoir avec exactitude les expositions ambiantes aux agents chimiques qui risquent de modifier le système endocrinien

5. voir si l'on peut mettre au point des marqueurs biologiques sensibles de la modification endocrinienne et en valider l'usage chez les animaux et les humains exposés aux agents chimiques présents dans le milieu

6. voir, chez les animaux, si l'on peut distinguer les expositions ambiantes aux agents chimiques qui sont des effecteurs endocriniens d'autres agresseurs environnementaux, par exemple la disparition de l'habitat, la malnutrition ou une évolution de la dynamique de l'écosystème susceptible d'influer de manière analogue sur le système endocrinien

7. voir, chez les humains, si l'on peut distinguer les expositions ambiantes aux agents chimiques qui sont des effecteurs endocriniens des effets endocriniens causés par des facteurs endogènes, alimentaires ou d'autres facteurs agressifs du mode de vie (perte d'emploi, etc.). Comment peut-on étudier leurs interactions?

8. déterminer les cohortes exposées à des agents chimiques dont on peut se servir pour étudier le potentiel qu'a l'exposition ambiante aux agents chimiques de modifier les fonctions endocrines ou les fonctions organiques touchées par le système endocrinien

9. voir si l'on peut concevoir des techniques pour endiguer le rejet d'effecteurs endocriniens. Peut-on mettre au point des technologies plus efficaces?

2.5 PROGRAMMES FÉDÉRAUX, PROVINCIAUX ET D'ÉTAT SUR LA RÉDUCTION DES SUBSTANCES TOXIQUES ET ACTIVITÉS CONNEXES DANS LE BASSIN DES GRANDS LACS : ÉVALUATION PRÉLIMINAIRE

2.5.1 Introduction

L'objectif général de **l'Accord relatif à la qualité de l'eau dans les Grands Lacs** (AQEGL) est de maintenir et de préserver l'intégrité physique, chimique et biologique des eaux de l'écosystème du bassin des Grands Lacs. À cette fin, l'article II et l'annexe 12 obligent les Parties à réduire les rejets de produits chimiques toxiques dans les Grands Lacs.

En 1994, le Groupe de travail du Conseil consultatif scientifique sur la mise en oeuvre par les Parties a étudié la situation des programmes de réduction des agents toxiques et les activités connexes des gouvernements fédéraux, provinciaux et d'État dans le bassin des Grands Lacs. Il présumait que ces programmes donneraient des indications sur la réalisation des objectifs énoncés dans l'Accord.

Le Groupe de travail a chargé deux enquêteurs, l'un au Canada et l'autre aux États-Unis, de lui fournir un inventaire des programmes fédéraux, provinciaux et d'État à cet égard. Le présent rapport est une brève synthèse des résultats de ces deux enquêtes (Sadek, 1994; Scheberle *et al.*, 1994), complétés par les observations des membres du Groupe de travail. On peut se procurer sur demande les études détaillées, ainsi que les commentaires reçus des divers organismes, auprès du Conseil.

2.5.2 Mandat

En élaborant le mandat des inventaires, le Groupe de travail a demandé qu'on se penche sur les questions suivantes :

- A-t-on adopté des lois qui imposent la collecte de données sur les substances chimiques toxiques et la réduction des rejets de ces substances?
- Outre les lois mentionnées ci-dessus ou indépendamment d'elles, existe-t-il des programmes qui visent à réduire les rejets de produits chimiques toxiques?
- Compte tenu des lois et des programmes, quels résultats mesurables a-t-on obtenu et quelles lacunes a-t-on observé, le cas échéant?

2.5.3 Sommaire des études de base

Nous avons communiqué, dans le cadre de l'étude, avec les représentants des huit États riverains des Grands Lacs (Illinois, Indiana, Michigan, Minnesota, New York, Ohio, Pennsylvanie et Wisconsin), de la province de l'Ontario et des deux gouvernements fédéraux. Nous avons ensuite compilé les lois, les données et les programmes relatifs aux substances chimiques toxiques, en nous efforçant de dresser un inventaire aussi complet que possible. Dans cet inventaire, nous avons inclus des renseignements tirés de 37 grandes bases de données américaines et de 56 canadiennes. Nous avons rencontré personnellement 75 représentants d'organismes fédéraux et d'État américains et 24 membres d'organismes provinciaux ontariens et fédéraux canadiens.

Deux mises en garde s'imposent à propos de ce travail. Tout d'abord, certains programmes ne visent pas expressément les substances toxiques, mais recueillent un petit nombre de données sur le sujet comme complément d'autres travaux. Le Groupe de travail a essayé de les inclure tous, mais il peut en avoir omis involontairement. Toutefois, le groupe estime que ces programmes ne représentent qu'une petite proportion de l'effort total. Ensuite, l'inventaire ne représente qu'une vue temporelle sélective. Comme les lois, les programmes et les bases de données changent sans cesse, il faut considérer les conclusions données ci-dessous comme représentatives des conditions qui régnaient à la fin de 1994.

2.5.4 Résultats généraux

Le Groupe de travail a constaté l'existence de quantité d'activités en tous genres dans les deux pays. À vrai dire, le nombre et la diversité de ces programmes, ajoutés à l'insuffisance des renvois, ont singulièrement compliqué la compilation d'un inventaire «exhaustif». Plusieurs conclusions générales se sont toutefois dégagées :

A-t-on adopté des lois qui imposent la collecte de données sur les substances chimiques toxiques et la réduction des rejets de ces substances?

Tous les secteurs de compétence ont adopté des lois pour réduire les rejets de produits chimiques toxiques. Rares parmi ces lois sont celles qui imposent la collecte de données et qui s'intéressent à la totalité des volets environnementaux. Par exemple, le programme de la **Stratégie municipale et industrielle de dépollution** (SMID) de l'Ontario va élaborer un règlement sur les rejets municipaux et industriels d'effluents contenant des substances toxiques, mais il ne vise pas les émissions atmosphériques ni les rejets solides de ces toxiques. Comme les séries de données recueillies par autorisation législative aux termes de lois américaines comme la ***Comprehensive Environmental Response, Compensation and Liability Act*** (CERCLA), la *Clean Air Act*, la *Clean Water Act* et la ***Resource Conservation and Recovery Act*** (RCRA) contiennent des renseignements sur la conformité, elles se limitent peut-être à certains types de substances. Enfin, les rapports 305(b) requis en vertu de la *Clean Water Act* dans le dessein de fournir une base de comparaison valable pour toute une région varient en fait considéra-

blement d'un État à l'autre dans le degré de précision, les techniques de collecte des données et l'actualité.

Outre les lois mentionnées ci-dessus ou indépendamment d'elles, existe-t-il des programmes qui visent à réduire les rejets de produits chimiques toxiques?

Des programmes de réduction des substances toxiques dans divers milieux ont été inaugurés grâce à plusieurs accords industriels volontaires. Citons comme exemples le programme fédéral canadien **de réduction accélérée et d'élimination des substances toxiques** (ARET) et les ententes individuelles conclues avec certains secteurs, tels l'Association canadienne des constructeurs automobiles. Il existe, dans des municipalités locales et régionales, des programmes volontaires visant les déchets domestiques dangereux, et plusieurs organismes agricoles parrainent des activités de réduction de la pollution rurale de sources diffuses dans le cadre de la planification environnementale agricole. Le programme Gestion responsable lancé au milieu des années 80 par l'Association canadienne des fabricants de produits chimiques (ACFPC) est une importante initiative industrielle qui vise à réduire l'utilisation et les émissions de produits toxiques par les entreprises membres. Le programme «33-50» de l'Environmental Protection Agency (EPA) des États-Unis est lui aussi un exemple d'initiative volontairement prise pour réduire les substances toxiques.

Dans leur grande majorité, les efforts de collecte de données consentis dans les États, les provinces et au sein des gouvernements fédéraux consistent toutefois à vérifier la conformité des contrôles des sources ponctuelles. De nombreux programmes de réduction des substances toxiques étant expressément polarisés sur un véhicule ou un contaminant, il est difficile de les comparer dans tous les secteurs de compétence. On consacre peu d'efforts aux agents chimiques toxiques rejetés par des sources diffuses. Les programmes de protection de la nappe phréatique constituent en l'occurrence un bon exemple (voir tableau 5). En dépit du mandat du Congrès, il a fallu à certains États près de 10 ans pour présenter le leur à l'approbation de l'EPA, et la plupart ne disposent pas des données nécessaires pour tirer des conclusions sur l'apport des sources non ponctuelles à la nappe phréatique. De plus, les mesures législatives adoptées récemment par la Chambre des représentants sur les droits de propriété portent un sérieux coup aux efforts nationaux de protection de la nappe phréatique.

Compte tenu des lois et des programmes, quels résultats mesurables a-t-on obtenu et quelles lacunes a-t-on observé, le cas échéant?

Malgré les piles de données recueillies depuis 10 ou 15 ans par les différents organismes, on ne possède guère d'information chronologique sur l'état de l'écosystème à l'échelle du bassin des Grands Lacs. Les données accessibles se composent surtout d'information détaillée sur certains problèmes et conditions localisés, mais les efforts pour unifier ces bases de données isolées en un cadre régional sont rares. La réserve de données qui en résulte est fragmentaire, incomplète et dépourvue de perspective temporelle ou spatiale dans le contexte de l'évaluation du bassin dans sa totalité. D'autres complications résultent de l'évolution des critères de mesure du progrès; ainsi, les points de référence ont été successivement la qualité de l'eau, les effets du cumul biologique, les possibilités de remise en suspension et de réactivation, et ainsi de suite.

Les bases de données ne sont pas toujours sûres; par exemple, STORET, aux États-Unis, accepte les données sans guère vérifier les erreurs à l'interne. L'utilisateur peut donc avoir du mal à déterminer la qualité et la fiabilité des données qui l'intéressent. Les données sont souvent, voire généralement, inaccessibles pendant de longues périodes aux cercles généraux de recherche sur les Grands Lacs par suite des droits de propriété et des difficultés de consultation et d'accès. Certaines bases de données, telles le Toxic Release Inventory américain et l'inventaire canadien national des rejets de polluants, changent parfois tous les ans avec l'ajout de nouveaux produits chimiques à la liste de ceux qu'il faut déclarer, car de nouvelles installations s'imposent pour en signaler l'émission.

Enfin, les données existantes ont été recueillies à des fins différentes, soit pour vérifier la conformité aux exigences légales ou volontaires, soit pour évaluer les conditions ambiantes aux «endroits névralgiques» locaux. Il est donc presque impossible d'évaluer les progrès à l'échelle du bassin, car il n'existe tout bonnement pas de norme de comparaison admise, les ensembles de données ne sont guère comparables et en général, les données sont dépourvues du contexte temporel et spatial qu'exigerait ce genre d'analyse. Rares étaient les organismes avec lesquels nous avons communiqué qui faisaient appel à une méthode ou à des critères formels pour évaluer l'efficacité des activités de gestion des substances toxiques. Il leur est donc difficile de juger de l'état actuel des programmes et d'établir un niveau de référence en fonction duquel évaluer les progrès futurs.

Par suite de la fragmentation de la base de données

Peu d'organismes disposaient de données suffisantes pour procéder à une évaluation complète de la qualité de l'eau ambiante sous le rapport des substances chimiques toxiques.

Peu d'organismes disposaient de données suffisantes pour déterminer l'apport respectif des différentes sources en produits chimiques toxiques (par exemple, sources agricoles diffuses en comparaison des sources industrielles ponctuelles).

Peu d'organismes disposaient de données suffisantes pour évaluer les rejets de substances chimiques toxiques ou les tendances des impacts sur les eaux réceptrices dans le temps.

Enfin, il se dégage clairement de l'examen que les Parties n'ont pas réussi à mettre au point des démarches conjointes ou bilatérales en matière de programmes de réduction des substances toxiques ou d'inventaires des données. Un des principaux obstacles qui s'opposent aux méthodes d'évaluation communes est la différence entre les contextes juridiques des deux pays, qui se reflète dans celle des méthodes adoptées pour la gestion des substances toxiques, des exigences en matière de collecte des données, des modes d'emploi des bases de données, et ainsi de suite. La **Conférence sur l'état de l'écosystème des lacs** (SOLEC) était un premier pas dans ce sens, mais il s'agit encore d'un mécanisme en évolution à harmoniser étroitement avec les activités de la CMI et les engagements pris par les Parties aux termes de l'Accord relatif à la qualité de l'eau dans les Grands Lacs.

Tableau 5.
Comparaison entre les programmes américains et canadiens de protection des sources

ÉTATS-UNIS

Les États sont tenus de dresser deux tableaux relatifs à la nappe phréatique en vertu des exigences de déclaration prévues à l'article 305(b). Le premier donne, par rang qualitatif, les principales sources de contamination de la nappe phréatique; le second cite les principaux contaminants de la nappe phréatique et donne la liste des contaminants contrôlés par l'État. En outre, l'État doit indiquer le nombre de cas de dépassement du **seuil de contaminant** pour les réseaux de distribution d'eau qui reposent en tout ou en partie sur la nappe phréatique. Il faut notamment indiquer le nombre de réseaux qui bénéficient d'un programme local de protection des sources.

La **Safe Drinking Water Act** (SDWA) vise deux objectifs principaux : en premier lieu, veiller à ce que les réserves publiques d'eau soient réellement potables et en second lieu, empêcher la contamination de la nappe phréatique. La SDWA impose aux États d'élaborer et d'appliquer des programmes de protection des sources qui empêchent la contamination de la surface et de la subsurface aux alentours des sources qui alimentent les réseaux publics de distribution d'eau potable. Les modifications apportées en 1986 à la SDWA ont suscité la création du **Wellhead Protection Program** (WHPP). En vertu du WHPP, les États doivent désigner des aires de protection des sources d'eau et déterminer toutes les sources artificielles éventuelles de contaminants situées dans cette aire. Les États sans programme approuvé ne reçoivent pas de fonds du gouvernement fédéral aux fins de la protection des sources, mais ne peuvent être contraints à se conformer par d'autres moyens.

MICHIGAN

Programme	Programme de protection des sources
Intérêt	Protéger les réserves d'eau potable et en garantir l'existence
Année d'inauguration	Approuvé par l'EPA en 1994
Organisme de mise en oeuvre	Agence de protection de l'environnement du Michigan

PENNSYLVANIE

Le Pennsylvania Department of Environmental Regulation a soumis un programme de protection des sources en 1994 à l'approbation de l'EPA des États-Unis.

OHIO

Programme	Programme de protection des sources
Intérêt	Protéger les réserves d'eau potable et en garantir l'existence
Année d'inauguration	Approuvé par l'EPA en 1992
Organisme de mise en oeuvre	Agence de protection de l'environnement de l'Ohio

NEW YORK

Programme	Programme de protection des sources
Intérêt	Protéger les réserves d'eau potable et en garantir l'existence
Année d'inauguration	1990
Organisme de mise en oeuvre	Department of Environmental Conservation de l'État de New York

MINNESOTA

Le MPCA présentera un programme final de protection des sources à l'approbation de l'EPA au cours de l'exercice 1995.

WISCONSIN

Programme	Programme de protection des sources du Wisconsin
Intérêt	Protéger les réserves d'eau potable et en garantir l'existence
Année d'inauguration	Approuvé par l'EPA en 1993
Organisme de mise en oeuvre	Department of Natural Resources du Wisconsin

ILLINOIS

Programme	Programme de protection de la nappe phréatique
Intérêt	Protéger les réserves d'eau potable et en garantir l'existence
Année d'inauguration	Approuvé par l'EPA en 1991
Organisme de mise en oeuvre	Agence de protection de l'environnement de l'Illinois

INDIANA

L'Indiana soumettra un programme de protection des sources à l'approbation de l'EPA au cours de l'exercice 1995.

CANADA

Actuellement, la protection de la nappe phréatique et des eaux de surface est assujettie à l'article 2 de la *Loi canadienne sur la protection de l'environnement*, qui interdit le rejet de tous les contaminants dans le «milieu naturel», lequel englobe par définition la nappe phréatique. S'il existe une structure législative pour protéger la nappe phréatique de la contamination, les travaux fédéraux et provinciaux confiés respectivement à Environnement Canada et au ministère ontarien de l'Environnement et de l'Énergie sont au point mort en raison d'un manque de fonds, d'intervention et parfois de personnel.

La mise en oeuvre du Plan vert du Canada, aujourd'hui disparu, a suscité la création d'un Groupe de travail spécial fédéral-provincial sur la nappe phréatique, composé de gestionnaires fédéraux et provinciaux de la nappe phréatique qui ont compilé les interventions de leurs collègues, des ministères fédéraux et provinciaux, des organismes, des associations et des bureaux municipaux et d'autres instances afin de déterminer les besoins prioritaires suivants :

- élaboration d'une stratégie nationale de la nappe phréatique
- affectation de fonds et de ressources humaines par les organismes de gestion de l'eau aux gestionnaires de la nappe phréatique dans le contexte des autres affectations à la gestion des ressources; de la valeur économique de la nappe phréatique, du rôle de cette dernière dans les réserves d'eau de surface et des connaissances actuelles des conséquences, pour les générations futures, des techniques d'aujourd'hui en matière de gestion de la nappe phréatique
- protection des zones de recharge; protection des sources et détermination des sources possibles

ONTARIO

En Ontario, la réglementation spécifique brille par son absence. Le Service de l'eau potable du ministère ontarien de l'Environnement et de l'Énergie a rédigé une ébauche de stratégie d'élaboration d'un mécanisme de protection de la nappe phréatique, qui n'a pas obtenu les faveurs de la haute direction ni d'appui financier. Les municipalités qui comptent sur la nappe phréatique pour avoir de l'eau potable ont donc été obligées, sans guère d'aide, de concevoir leur propre protection et de la financer elles-mêmes. Par ailleurs, les grandes municipalités qui comptent sur les eaux de surface pour avoir de l'eau potable bénéficient de programmes gouvernementaux.

Font exception au manque de mécanismes proactifs les directives rurales axées sur les pratiques agricoles qui contaminent la nappe phréatique, directives élaborées par Agriculture Canada et le ministère ontarien de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales.

Un projet de gérance des puits, financé par Agriculture Canada et mis en oeuvre par l'Association pour l'amélioration des sols et des cultures de l'Ontario, a été mis au point récemment pour aider financièrement les agriculteurs à protéger les sources existantes.

AUTRES

Les programmes des provinces de l'Île-du-Prince-Édouard et du Nouveau-Brunswick ont des éléments communs. Pour chaque source :

- délimitation d'une aire de protection fondamentale des sources fondée sur la zone de recharge de l'aquifère, à l'aide de toutes les données dont on dispose sur les conditions hydrogéologiques
- plan de gestion expressément prévu pour protéger la source
- inventaire des activités éventuellement polluantes dans la zone de la source
- repérage des autres sources d'eau potable en cas de contamination
- participation et examen du public pendant l'élaboration du programme

2.5.5 Recommandations

Il est évident que les programmes actuels de gestion des substances chimiques toxiques et les activités de collecte des données sont mal coordonnés entre les États-Unis et le Canada. S'il en est ainsi, c'est en raison de divers facteurs, notamment la différence des contextes juridiques et l'évolution des priorités politiques. Néanmoins, le Groupe de travail a conclu qu'en raison des restrictions financières actuelles, il était impératif que les juridictions riveraines des Grands Lacs rendent leurs lois, leurs programmes et leurs bases de données plus compatibles à l'égard de la gestion des substances toxiques. Il ne s'agit pas pour les Parties d'adopter des programmes identiques, mais d'être mieux en mesure de comparer les progrès à l'échelle du bassin. Le Conseil consultatif scientifique recommande que :

- **la Commission considère les programmes de réduction des substances toxiques comme une priorité d'action pour le prochain cycle de deux ans. Pour favoriser cette priorité, la CMI doit créer au sein du Conseil consultatif scientifique un Groupe de travail spécial, de concert avec le Conseil de la qualité de l'eau et le Conseil des gestionnaires de la recherche des Grands Lacs, qui aura pour mandat :**

  a) d'élaborer des mécanismes et des critères bilatéraux normalisés pour évaluer les lois, les programmes et les activités de collecte des données en matière de gestion des substances chimiques toxiques;
  b) de conseiller la Commission sur la conception et la mise en oeuvre de ces activités afin d'évaluer les charges de substances toxiques déversées dans le bassin des Grands Lacs.

- **la Commission rappelle avec insistance aux Parties la recommandation du *Septième rapport biennal sur la qualité de l'eau dans les Grands Lacs*, qui s'énonçait comme suit :**

  - que les gouvernements adoptent une stratégie binationale concrète et coordonnée dans un délai de deux ans établissant un ensemble commun d'objectifs et de méthodes d'intervention afin de stopper les apports de substances toxiques rémanentes dans l'environnement des Grands Lacs, en s'appuyant sur le cadre élaboré par le Groupe de travail sur l'élimination virtuelle.

2.6 SUIVI DES ACTIVITÉS DU GROUPE DE TRAVAIL SUR L'ÉLIMINATION VIRTUELLE

Le problème des substances toxiques persistances demeure un des pôles des travaux de la **Commission mixte internationale** (CMI). Depuis les années 70, cette dernière, secondée par ses conseils consultatifs, propose des orientations et des mesures pour régler ce problème, comme le prouvent les recommandations qu'elle présente aux gouvernements. Une des principales recommandations contenues dans le *Septième rapport biennal* (CMI, 1994) était de souscrire à la Stratégie pour l'élimination virtuelle proposée par le Groupe de travail sur l'élimination virtuelle (GTEV) à titre de cadre pour leurs interventions en vue de mettre en oeuvre la politique centrale de l'Accord.

Le Groupe de travail sur la mise en oeuvre par les Parties a étudié le rôle et l'importance des efforts de planification rattachés à l'application de la stratégie proposée et à l'avancement de la cause que représente l'élimination virtuelle des substances toxiques persistantes.

Il s'est penché sur la dioxine et les furannes où il voit d'intéressants exemples d'élimination virtuelle, parce qu'ils ont soulevé toute une gamme de questions d'ordre social, économique et technique. Le groupe ne recommande pas d'agir sur un groupe de produits bien précis, mais d'examiner les conséquences pratiques du passage à l'élimination virtuelle.

2.6.1 Évolution du cadre stratégique à l'égard des substances toxiques persistantes

L'Accord relatif à la qualité de l'eau dans les Grands Lacs (AQEGL) donne l'orientation générale en matière de substances toxiques. L'article II de cet accord stipule «d'interdire les rejets de substances toxiques en quantités reconnues toxiques et de tâcher d'éliminer les rejets de toutes les substances toxiques rémanentes». En outre, l'annexe 12 donne une orientation aux gouvernements quant au traitement des substances toxiques rémanentes, entre autres le principe selon lequel il faut concevoir les nouveaux programmes de réglementation dans l'optique du «rejet nul».

L'Accord donne le cadre dans lequel étudier les substances toxiques persistantes, mais les rapports biennaux présentés par la CMI aux gouvernements du Canada et des États-Unis ont élargi et fait évoluer les réflexions sous le rapport du respect de la nature, de la portée et de l'application des objectifs de cet Accord.

S'appuyant sur une bonne partie des travaux du Conseil consultatif scientifique que lui a exposés ce dernier dans ses trois rapports précédents, la CMI a inclus dans son *Sixième rapport biennal* un cadre stratégique à l'égard des substances toxiques rémanentes. La Commission a recommandé aux gouvernements un mécanisme visant la réduction progressive de ces substances. Ce processus, appelé «élimination progressive» a été défini comme suit par la Commission :

> *«L'élimination progressive» est un processus complet qui consiste à restreindre, réduire progressivement et interdire ultimement la fabrication, la génération, l'utilisation, le transport, le stockage, le rejet et l'élimination d'une substance toxique rémanente. Elle implique parfois la prise en compte des procédés de fabrication et des produits associés à la production et à l'utilisation d'un composé chimique, aussi bien que du composé lui-même ainsi que l'établissement d'échéanciers réalistes, mais fixes, visant l'élimination virtuelle de la substance toxique rémanente.*

Dans son *Sixième rapport biennal*, la Commission a recommandé d'établir un calendrier pour l'élimination de certaines substances (par exemple le DDT, la dieldrine, le toxaphène, le mirex et l'hexachlorobenzène). Elle a également recommandé d'élaborer, de concert avec l'industrie et d'autres intérêts touchés, des échéanciers pour l'élimination du chlore et des composés contenant du chlore dans les charges d'alimentation industrielles et d'examiner les moyens d'en réduire ou supprimer d'autres usages.

La notion d'élimination progressive a été explicitée et, à vrai dire, considérablement peaufinée, dans le rapport du **Groupe de travail sur l'élimination virtuelle** (GTEV) de la CMI intitulé *Une Stratégie pour l'élimination virtuelle des substances toxiques rémanentes* (1993). Ce rapport retraçait les efforts consentis pour régler le problème des substances toxiques rémanentes. On y faisait remarquer l'évolution de la démarche adoptée en ce sens, laquelle, de lutte contre la pollution qui assure la gestion de chaque substance prise individuellement, s'est transformée en recherche de procédés de production respectueux de l'environnement en passant par la prévention, qui cherche à éviter l'utilisation et la production de ces substances. On exposait ensuite dans le rapport une stratégie d'élimination virtuelle, guidée par 10 principes. Cette stratégie repose sur l'hypothèse qu'il peut être indispensable d'utiliser certains produits chimiques bien précis et d'autres matières premières et parfois, d'évaluer des catégories entières d'agents chimiques ou de procédés industriels. Le GTEV a proposé une analyse d'arborescence des utilisations pour rendre plus faciles le repérage des sources de substances chimiques et le choix du lieu et du mode d'intervention les plus utiles. La Commission a adopté officiellement le rapport du GTEV et sanctionné ses conclusions et ses recommandations dans son *septième rapport bisannuel*.

Le GTEV a également mis au point son processus décisionnel et recommandé de l'utiliser pour déterminer les substances candidates à l'élimination virtuelle, les indicateurs du progrès et l'optique à adopter pour réussir l'élimination.

2.6.2 Mise en oeuvre de la stratégie du GTEV — Vers une industrie durable

Le concept d'élimination progressive adopté par la Commission ainsi que les connaissances et les perfectionnements qu'y a ajoutés le GTEV répondent à la question de savoir comment et sur quelle base déterminer les substances susceptibles de devoir disparaître graduellement.

Si le cadre stratégique s'attardait beaucoup sur l'identité des substances à propos desquelles agir (le cas échéant), des problèmes tout aussi compliqués se posent à propos de la façon «d'éliminer progressivement» ces substances une fois la stratégie proposée par le GTEV mise en application. De fait, la question du comment fait de plus en plus l'objet des discussions et du dialogue de nombreux intervenants. À la réunion biennale de 1993, qui s'est tenue à Windsor, en Ontario, les représentants des syndicats, des environnementalistes et de l'industrie sont tous tombés d'accord sur le fait que, s'il faut supprimer graduellement certaines substances, il faut aussi prévoir expressément les problèmes technologiques, sociaux et économiques susceptibles de surgir en cours de route et leur trouver une solution. Bref, il a été admis qu'il fallait planifier le passage à des procédés de production moins polluants.

Dans son *Septième rapport biennal*, la Commission a déclaré qu'une stratégie d'élimination virtuelle efficace répondrait à la question du comment mettre en application le concept de l'élimination progressive compte tenu des éléments technologiques, sociaux et économiques susceptibles de se présenter. De fait, elle faisait remarquer dans ce rapport (page 29) :

Il faudra du temps pour éliminer progressivement le grand nombre de substances chimiques rémanentes utilisées actuellement même si tous les gouvernements et l'ensemble de l'industrie déploient un effort largement réparti et ciblé. Il s'agira d'un effort d'une amplitude considérable qui, dans certains cas, se répercutera dans tous les secteurs de l'économie. Il est également dans l'intérêt de chacun que l'économie reste viable dans sa phase de transition ordonnée.

La Commission poursuivait en déclarant qu'«il nous faut adopter une approche basée sur le consensus, qui tienne compte des préoccupations de la main-d'oeuvre, de l'industrie, des municipalités et des autres intérêts en jeu pour assurer une transition ordonnée vers une économie ayant exclu les substances toxiques rémanentes» [p. 15]. Elle ajoutait dans sa recommandation 20 que «les gouvernements, l'industrie et les organisations syndicales commencent à élaborer des plans pour faire face aux perturbations économiques et sociales qui pourraient se produire à la suite de l'élimination graduelle des substances toxiques rémanentes».

Certes, la notion de planification a son importance, mais on sait qu'on a retiré du commerce plusieurs des substances portées sur la liste des 11 **substances toxiques persistantes** (STP) de la CMI sans l'aide de plans de transition. Les mécanismes politiques règlent en fin de compte les problèmes de transition qui se posent à la société par le biais de directives d'intérêt public, de règlements et de mesures législatives. Par contre, dans le système de marché, on ne cesse de mettre au point et de lancer des technologies nouvelles qui facilitent la suppression progressive des produits et des procédés nuisibles pour l'écosystème. Le rôle de la planification dans le contexte de la politique d'élimination virtuelle des STP est de favoriser les mécanismes de cette évolution sociale profonde en offrant à toutes les personnes touchées une tribune sur laquelle elles pourront évaluer les progrès, déterminer les solutions de rechange et s'entendre sur les priorités. La bonne mise en oeuvre de toute stratégie exige de la planification et de la coordination de la part de tous les secteurs de la société. Encore qu'on ait souvent par le passé attribué aux gouvernements une responsabilité de chefs de file dans les activités de planification, la mise en oeuvre de la stratégie d'élimination des STP conçue par le GTEV et l'indispensable planification qu'elle suppose incombent à tous les intervenants.

2.6.3 Atelier parrainé par le Groupe de travail sur la mise en oeuvre par les Parties

Compte tenu de la priorité fixée, le Groupe de travail a organisé un atelier sur la transition vers l'élimination virtuelle, avec animateur, les 30 et 31 mars 1995 à Ann Arbor, dans le Michigan. Il s'agissait de mettre le doigt sur les obstacles qui s'opposaient à l'élimination virtuelle et sur les possibilités d'y parvenir. La question était de savoir comment planifier la transition, et non si la suppression progressive des substances toxiques persistantes devait se faire. L'atelier a été consacré à une étude de cas où l'on avait pris les **dioxines polychlorées** (PCDD) et les **dibenzofurannes polychlorés** (PCDF) comme candidats à l'élimination virtuelle.

La dioxine est employée ici parce qu'elle offre plusieurs avantages dans une étude de cas. Les membres du Conseil consultatif scientifique n'y voient pas tous la substance dont il importe le plus de régler le cas, et ce n'est pas pour cette raison qu'on s'est penché sur elle, mais parce que la CMI a recommandé de prendre des mesures à son égard dans ses rapports bisannuels passés. Comme il s'agit d'un sous-produit, ce n'est pas un cas facile et à ce titre, elle met clairement en lumière quelques problèmes importants posés par le mouvement vers l'élimination virtuelle. Enfin, ses sources sont très nombreuses et de ce fait, les chercheurs pourront se pencher sur quantité d'applications du concept adaptées à chaque source.

Pour animer le débat, le Groupe de travail a demandé une série d'articles à différents groupes d'intervenants, notamment l'industrie, les défenseurs de l'environnement, les syndicats et le gouvernement. Pour ce qui est de l'industrie et des défenseurs de l'environnement, comme ils ont formé un consortium chacun de leur côté, les articles qui émanent d'eux pourraient chacun faire place à différentes perspectives.

Les auteurs d'exposés ont été priés de poser les actes suivants dans une optique binationale :

- fournir une définition de travail de la «planification de la transition»;
- faire référence aux données existantes sur les charges et les sources de produits analogues à la dioxine, d'origine anthropique, présents dans les Grands Lacs;
- déterminer les obstacles d'origine juridique, économique, sociale, technologique et scientifique qui s'opposent à l'élimination et à la «temporarisation» de ces éléments;
- déterminer les intervenants que la mise en oeuvre des stratégies d'élimination virtuelle toucherait, notamment sur le plan économique et social, et qu'il faudrait inclure dans les mécanismes de planification de la transition;

- discuter des mécanismes susceptibles d'être utilisés dans la planification de la transition afin de réduire le plus possible les répercussions néfastes, de favoriser le maximum de bénéfices et d'assurer la répartition juste et équitable des avantages et des inconvénients de la transition parmi les intervenants.

L'atelier a également tiré profit d'un exposé approfondi sur le récent rapport de l'EPA des États-Unis, *Dioxin Re-Assessment Study* (U.S. EPA, 1994), et d'une étude sur *l'évaluation quantitative de l'entrée de dioxines, de furannes et d'hexachlorobenzène dans les Grands Lacs à partir de sources atmosphériques et aquatiques* (Commoner et Cohen, 1995). Il y a eu aussi des exposés sur les perspectives économiques et les technologies vertes. On peut se procurer ces études sur demande. On a également présenté des articles de la part de représentants des syndicats ainsi que des groupes de défense de l'environnement et de groupes industriels.

Il n'est pas possible de transmettre, même sous forme de résumé, la mine d'information et d'idées des auteurs d'exposé et des participants de l'atelier. Plusieurs thèmes intéressants, stimulants et pertinents se sont cependant dégagés. Citons, parmi ceux qui ont fait l'objet d'un dialogue et de débats et qui demeurent d'intérêt :

Questions prépondérantes
- nécessité, non seulement d'un **processus** de planification de la transition, mais d'une **politique** de transition pour l'Amérique du Nord
- formulation d'une définition satisfaisante de «planification de la transition»

Principes de la planification de la transition
- nécessité d'objectifs clairs et de mandats de temporarisation comme préalables au déclenchement du processus de transition
- nécessité de mettre en jeu tous les intervenants compétents, soit la main-d'oeuvre, l'industrie et les collectivités
- adoption, dans le processus de transition, d'une politique d'absence de perte nette pour les travailleurs
- étude des moyens d'intégrer au processus une analyse de rentabilité

Élaboration d'un processus de «planification de la transition»
- élaboration d'un cadre systématique de planification à des fins de transition méthodique, y compris la définition des objectifs et des principes, la création des institutions voulues, l'examen des recherches de base, le choix du mécanisme de transition et la mise en train de ce mécanisme
- application du processus aux principaux contributeurs d'abord (un secteur ou une usine)

Examen des mécanismes de transition
- création d'un fonds de transition pour aider les travailleurs et les collectivités
- examen des mécanismes économiques, juridiques, volontaires et autres destinés à faciliter la transition

Cadre institutionnel de la transition
- nécessité de créer des organismes internationaux, régionaux ou locaux ou d'améliorer ceux qui existent afin de faciliter les plans de conception, d'élaboration et de mise en oeuvre

2.6.4 Recommandations

Il semble généralement admis que, dans la «temporisation» des substances, il est à la fois nécessaire et souhaitable de planifier le passage à des procédés de production moins polluants. En outre, cette notion se dégage tout naturellement de l'évolution stratégique de la Commission. Aux fins actuelles, nous n'adopterons aucune définition précise de la planification de la transition, car cette notion évoluera sans nul doute avec le temps quand le dialogue sur le sujet se sera élargi. **Toutefois, on pourrait tout simplement, comme définition de travail, considérer qu'il s'agit d'un processus comprenant diverses mesures économiques, juridiques, volontaires ou autres conçues pour anticiper sur l'adoption de technologies et de produits moins polluants en évaluant les répercussions de la transition sur les employés, les collectivités et d'autres intérêts touchés. En fait, il s'agit de se demander quelles sont les incidences sociales de la temporarisation d'une substance ou d'une catégorie de substances.** Par conséquent, le Conseil consultatif scientifique recommande que :

- la Commission considère le planification du passage à l'élimination virtuelle comme une priorité d'études et de recherches ultérieures au cours du prochain cycle de deux ans. Les éléments de cette recherche doivent comprendre :
  - une étude de plusieurs dossiers individuels où l'on a consenti des efforts bien précis pour faciliter la transition d'un secteur industriel à la suite d'un changement de conditions (par exemple la réduction des effectifs militaires ou la disparition progressive de certaines substances, par exemple les CFC) afin de tirer des leçons de ces acquis
  - une enquête destinée à répertorier les principaux participants au dioxine dans les Grands Lacs
  - l'élaboration d'un plan de transition, avec la participation des intervenants importants, destiné à l'élimination virtuelle des apports de dioxine de l'un des principaux participants. L'élaboration du plan servirait de tribune sur laquelle on discuterait tant du cadre général des plans de transition que de leurs principaux éléments. Entreraient dans le mandat de l'étude :
  1. la définition de la planification de la transition
  2. les principes importants qu'il faudrait suivre pour élaborer un plan (par exemple l'identité de ceux qui devraient participer à la conception du plan, au besoin, parmi beaucoup d'autres)
  3. la définition et la faisabilité des mécanismes de transition (tels un fonds de transition) ainsi que leurs possibilités et les obstacles qui s'opposeraient à leur fonctionnement dans la pratique
  4. la nécessité éventuelle de créer un cadre institutionnel pour l'élaboration, la mise en oeuvre et le suivi du processus de transition, que ce soit au palier local, régional, national ou international

- **la Commission parraine une ou plusieurs tables rondes pour engager les principaux intervenants dans le dialogue sur le sujet et pour expliciter la façon dont il y a lieu d'interpréter et d'appliquer le mandat;**

- **la Commission recherche activement des moyens pour prendre part au dialogue international sur la planification de la transition, tant en Amérique du Nord qu'en dehors du continent;**

- **la Commission mixte internationale rappelle plus particulièrement aux gouvernements la recommandation n° 20 de son *Septième rapport biennal*, qui demande que les gouvernements, l'industrie et les organisations syndicales commencent à élaborer des plans pour faire face aux perturbations économiques et sociales qui pourraient se produire à la suite de l'élimination graduelle des substances toxiques rémanentes;**

- **qu'outre ce rappel, la Commission recommande aux gouvernements qui oeuvrent dans le bassin des Grands Lacs :**
  - d'inclure lorsqu'ils le jugent nécessaire, soit quand il existe un risque de désorganisation sérieuse de la population active ou de la collectivité, les éléments de la planification de la transition dans les engagements pris expressément à l'égard des substances dont on a déjà prévu la suppression graduelle, telles celles dont on a dressé la liste aux termes de l'entente Canada-Ontario (1994) et dans le cadre du programme binational du lac Supérieur
  - de rendre compte tous les deux ans à la CMI des progrès accomplis dans l'implantation de ces mécanismes de transition.

2.7 INCIDENCES DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LES GRANDS LACS : VERS UNE STRATÉGIE BINATIONALE

2.7.1 Aspects internationaux

Introduction

L'éventualité d'un changement climatique dû à une influence anthropique fait l'objet de conjectures dans la littérature scientifique depuis au moins 1896 (Bolin, 1994). Une évaluation internationale de l'importance de ce changement a été effectuée pour la première fois en 1985, sous les auspices du **Programme des Nations Unies pour l'environnement** (PNUE) et de l'**Organisation météorologique mondiale** (OMM) (Bolin *et al.*, 1986). La Commission des Nations Unies sur l'environnement et le développement (1977) s'est penchée sur les perspectives de changement climatique dans le contexte plus général du changement planétaire. C'est ainsi qu'on a vu se créer en 1988 le **Groupe intergouvernemental de l'évolution du climat** (GIEC), organisme technique voué à l'évaluation scientifique du changement climatique, dont le premier rapport d'évaluation s'est achevé en 1990. En 1992, un rapport complémentaire du GIEC a précédé l'adoption, en mai de la même année, de la Convention des Nations Unies sur le changement climatique à l'occasion de la Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement qui s'est tenue à Rio cette année-là. La ratification de cette convention internationale a provoqué la première réunion de la conférence des Parties qui a eu lieu à Berlin le 31 mars 1995. L'objectif de la convention-cadre sur le changement climatique est «(...) de réussir à stabiliser les concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère à un niveau qui empêcherait une ingérence anthropique dangereuse sur le régime climatique, niveau qu'il faudrait atteindre dans des délais suffisants pour que les écosystèmes puissent s'adapter naturellement au changement climatique, que la production alimentaire ne soit pas menacée et que le développement économique puisse se poursuivre de manière durable». Pour aider la conférence des Parties dans ses travaux, le GIEC prépare un deuxième rapport d'évaluation qui doit paraître au début de 1996. Un rapport sommaire a été publié en novembre 1994 à l'intention des décideurs sur «le forçage radiatif du climat et l'examen des scénarios mondiaux et régionaux des émissions de gaz à effet de serre», la publication du rapport scientifique complet devant coïncider avec la conférence des Parties à Berlin.

Les travaux du GIEC sont répartis entre trois groupes de travail :

- Le Groupe de travail I étudie les fonctions du régime climatique, notamment les facteurs naturels et anthropiques.
- Le Groupe de travail II évalue les incidences possibles, les stratégies d'adaptation et les mesures d'atténuation, entre autres les possibilités de réduire les émissions de gaz à effet de serre et le rôle de la technologie.
- Le Groupe de travail III s'intéresse surtout aux répercussions économiques, et notamment aux méthodes d'analyse de rentabilité, par exemple : La prévention vaut-elle mieux que l'adaptation? Quelle est la plus rentable?

La deuxième évaluation du Groupe intergouvernemental de l'évolution du climat comprendra des chapitres d'un certain intérêt pour les Grands Lacs laurentiens.

Évaluation

Le rôle du GIEC est un rôle d'évaluation, semblable à celui de la **Commission mixte internationale** (CMI) aux termes de l'**Accord relatif à la qualité de l'eau dans les Grands Lacs** (AQEGL). Ce rôle est essentiellement soutenu à l'échelle internationale par un cadre, international lui aussi, de recherche sur le système terrestre. Ces programmes se partagent un lien institutionnel par l'entremise du **Conseil international des unions scientifiques** (CIUS) et de la participation personnelle de certains des scientifiques les plus éminents du globe. Le CIUS a été créé en 1931 dans le but de :

- favoriser l'activité scientifique internationale;
- faciliter la coordination entre les unions et les pays membres;
- concevoir et mettre en oeuvre des programmes scientifiques interdisciplinaires internationaux;
- faire office de conseiller auprès des gouvernements et d'autres instances sur les questions scientifiques qui possèdent une dimension internationale.

Le Conseil se compose actuellement de 23 unions scientifiques internationales, de 20 organismes interdisciplinaires et d'organismes scientifiques à caractère national de 92 pays. Ces membres sont normalement les universitaires ou les conseils de recherche de ces pays.

Recherche

La recherche sur le système terrestre se subdivise en quatre domaines, tous rattachés au climat :

- le **régime climatique physique**, entre autres l'atmosphère, les océans, la glace et la neige (Programme mondial de recherche sur le climat);
- les **phénomènes interactifs** — physiques, chimiques et biologiques — qui règlent le système terrestre (Programme international géosphère-biosphère);
- la **diversité biologique** de la vie végétale et animale (DIVERSITAS[3]);
- les **dimensions humaines** du changement de l'environnement, autrement dit, les interactions de la société humaine avec son milieu (Programme des dimensions humaines).

---

3 DIVERSITAS; Union internationale des sciences biologiques (UISB), Comité scientifique sur les problèmes de l'environnement (SCOPE), Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture (UNESCO), Programme sur la biodiversité

Dans la poursuite de son objectif, qui est de se pencher sur la nature du système terrestre, ses changements passés et son avenir incertain, le PIGB a déterminé les six questions cruciales qui doivent orienter la recherche :

- Comment se règle la chimie de l'atmosphère mondiale et quel est le rôle des phénomènes biologiques dans la production et la consommation de gaz à l'état de traces?
- En quoi les changements mondiaux influenceront-ils les écosystèmes terrestres?
- Quelles sont les interactions de la végétation avec les phénomènes physiques du cycle hydrologique?
- Comment les changements d'utilisation des sols, du niveau de la mer et du climat modifieront-ils les écosystèmes côtiers et quelles sont les conséquences plus vastes de ces phénomènes?
- Comment les processus biogéochimiques de la mer influencent-ils le changement climatique et y réagissent-ils?
- Quels sont les changements de climat et de milieu importants qui se sont produits dans le passé et quelles en étaient les causes?

Parmi les autres activités du PIGB susceptibles de mieux faire comprendre l'intégrité chimique, physique et biologique de la terre, citons celles du Groupe de travail sur **l'analyse, l'interprétation et la modélisation mondiales** (GAIM), le **système de données et d'information** (SDI-PIGB) et le **système d'analyse, de recherche et de formation** (START) (Williamson, 1992).

Cycle hydrologique

Un des projets de base du PIGB qui se rapporte plus particulièrement aux Grands Lacs consiste à voir comment les écosystèmes et leurs éléments influent sur le cycle de l'eau, les ressources d'eau douce et le partage de l'énergie sur terre. Le cycle hydrologique, qui relie l'atmosphère, les océans, la terre et la biosphère, est un élément clé du régime climatique de la planète. Il est indispensable de mieux le comprendre si nous voulons prévoir le changement climatique qui nous attend avec moins d'incertitude. Les travaux de modélisation sont devenus plus dynamiques et plus polyvalents depuis 1990, mais les connaissances actuelles reposent encore en grande partie sur les résultats des **modèles de circulation générale** (MCG) qui faisaient la base du premier rapport d'évaluation. Dans les travaux de modélisation actuels, on s'efforce d'associer l'océan et l'atmosphère (MCGC); ces efforts confirment en général les conclusions tirées en 1990 par le GIEC, qui évalue le réchauffement futur à environ 0,3°/décennie (plage : 0,2 à 0,5° C/décennie) (OMM/PNUE, 1992). Les chercheurs en climatologie espèrent qu'en tenant compte de l'influence du cycle hydrologique, ils amélioreront la certitude des prévisions relatives au changement climatique au chapitre du moment, de l'ampleur et des schémas régionaux.

Le cycle hydrologique influence le climat de différentes façons. Les échanges d'humidité et de chaleur entre l'atmosphère et la surface de la terre exercent une action fondamentale sur la dynamique et la thermodynamique du régime climatique. Sous forme de vapeur, de nuages, de liquide, de neige et de glace, ainsi que durant les changements d'état, l'eau joue des rôles antagonistes en réchauffant ou en refroidissant le milieu. L'évaporation provoque 50 % du refroidissement de la surface. La vapeur d'eau dans l'atmosphère agit comme un puissant gaz à effet de serre et multiplie presque par deux les effets du réchauffement par effet de serre causé par le gaz carbonique, le méthane et d'autres gaz analogues (Chahine, 1992). Les nuages régissent le climat en modifiant le bilan de rayonnement de la terre. Le dégagement de la chaleur latente de condensation dans les nuages fournit 30 % de l'énergie thermique qui alimente la circulation atmosphérique terrestre.

Conclusions

D'autres facteurs importants rattachés aux prévisions en matière de changement climatique déterminent les émissions anthropiques futures de gaz à effet de serre et d'autres agents de forçage du climat, tels les aérosols. Les gaz à effet de serre augmentent l'effet du rayonnement, tandis que les aérosols le réduisent en augmentant le réfléchissement du rayonnement solaire dans l'espace. D'après des études récentes, il semblerait que l'effet des nuages «sales» sur le climat en raison des particules d'aérosol qui modifient la couverture et la densité des vapeurs soit comparable en grandeur à celui des gaz à effet de serre (Stephens, 1994).

Les progrès réalisés depuis 1990 font mieux saisir les incertitudes qui entourent le changement climatique; c'est eux qui motivent l'existence d'un programme international de recherche visant à réduire ces incertitudes. Ce programme comprend les éléments suivants (OMM/PNUE, 1990) :

- mise au point de meilleurs modèles, ce qui comprend l'élaboration de descriptions convenables de toutes les composantes du régime climatique;
- amélioration de l'observation systématique et de la compréhension des variables de forçage climatique à l'échelle de la planète, entre autres de l'éclairement énergétique du soleil et des aérosols;
- acquisition d'observations complètes sur les variables pertinentes qui décrivent toutes les composantes du régime climatique, y compris le cas échéant de technologies nouvelles et d'ensembles de données;
- meilleure connaissance des phénomènes climatiques, surtout de ceux qui sont associés aux nuages, aux océans et au cycle du carbone;
- meilleure connaissance des mécanismes sociaux, technologiques et économiques dont nous avons besoin, surtout dans les pays en voie de développement, pour élaborer des scénarios plus réalistes sur les émissions futures;
- élaboration d'inventaires nationaux des émissions actuelles;
- connaissance plus approfondie des changements climatiques survenus dans le passé;
- maintien ou intensification du soutien accordé aux activités de recherche sur le climat qui transcendent les frontières des nations et des disciplines; des mesures spéciales s'imposent pour faciliter la pleine participation des pays en voie de développement;
- amélioration des échanges internationaux de données climatiques.

Les conclusions du GIEC ne devraient pas changer sensiblement dans son deuxième rapport d'évaluation, qui doit paraître au début de 1996. On pouvait notamment y lire que (OMM/PNUE, 1990) :

- la température mondiale moyenne de l'air en surface a augmenté de 0,3° C à 0,6° C au cours des 100 dernières

années, et les cinq années les plus chaudes en moyenne à l'échelle de la planète se situent dans les années 80. Pendant la même période, le niveau mondial de la mer a augmenté de 10 à 20 cm. Ces augmentations n'ont pas été régulières dans le temps ni à la surface du globe;

- l'importance de ce réchauffement concorde en gros avec les prévisions établies grâce aux modèles climatiques, mais elle est également du même ordre de grandeur que la variabilité naturelle du climat. L'augmentation observée pourrait donc être en grande partie due à cette variabilité naturelle, laquelle pourrait aussi, ajoutée à des facteurs humains, avoir tempéré un réchauffement par effet de serre d'origine humaine plus accusé encore. Il est peu probable qu'on puisse par l'observation déceler sans équivoque l'accroissement de l'effet de serre avant 10 ans ou plus;
- rien ne prouve hors de tout doute que le climat est devenu plus variable depuis quelques décennies, mais si la température moyenne augmente, les épisodes de grande chaleur deviendront très vraisemblablement plus fréquents et les épisodes de froid moins;
- les écosystèmes agissent sur le climat et sont influencés par son évolution ainsi que par l'augmentation de la concentration de gaz carbonique. Un changement climatique rapide modifierait la composition des écosystèmes; certaines espèces en bénéficieraient, d'autres seraient incapables d'émigrer ou de s'adapter assez vite et s'éteindraient peut-être. L'augmentation des concentrations de gaz carbonique pourrait augmenter la productivité de la végétation et accroître sa capacité d'utilisation de l'eau. L'effet du réchauffement sur les mécanismes biologiques, encore que mal connu, augmenterait peut-être les concentrations atmosphériques de gaz à effet de serre naturels.

L'éruption du mont Pinatubo, dont on avait la certitude scientifique qu'elle élèverait la température mondiale moyenne et provoquerait l'année la plus chaude jamais enregistrée jusqu'en 1990, s'est produite en juin 1991 dans les Philippines. Elle a projeté de grandes quantités d'aérosols sulfatés dans la haute atmosphère, qui ont réfléchi la lumière solaire dans l'espace à un degré suffisant pour amener un refroidissement qui confirme les modèles climatiques. Toutefois, au début de 1994, presque tous les aérosols s'étaient déposés, libérant la voie, et la tendance au réchauffement reprenait (McCormick *et al.*, 1995). L'année 1994 apporta de nouvelles preuves du réchauffement mondial, et de nombreux pays enregistrèrent des températures record. D'après des estimations récentes, les émissions cumulées de CO_2 dues à la production d'énergie et à l'industrie devraient être de 3 1/2 à 10 fois plus élevées au cours du prochain siècle que par le passé si l'on ne fait pas d'efforts considérables pour les réduire; ces estimations confirment les scénarios d'émissions IS92 mis au point à l'intention des MCG pour modéliser le climat futur (Bruce, communication personnelle).

2.7.2 Évaluation régionale des écosystèmes d'eaux douces et du changement climatique en Amérique du Nord

Tenu en octobre 1994 à Leesburg, en Virginie, ce symposium a été organisé par l'American Society of Limnology and Oceanography et la North American Benthological Society et parrainée par l'Environmental Protection Agency et la Geological Society des États-Unis. Diane McKnight et Alan Covich, Ph. D., présidaient la conférence. Aux fins de l'analyse, l'Amérique du Nord a été divisée en huit régions, dont l'une était celle des lacs glaciaires, qui comprend les Grands Lacs laurentiens. On en attend trois produits différents, à savoir : 1) huit évaluations régionales des effets possibles du changement climatique mondial, qui doivent paraître dans la revue *Hydrological Processes*, 2) un premier sommaire de ces huit évaluations et 3) un numéro spécial de *Limnology and Oceanography* contenant les exposés, revus par des pairs, présentés au symposium. Voici un résumé de l'évaluation pour la région des lacs glaciaires :

Grands Lacs laurentiens et Bouclier précambrien (Magnuson *et al.*, 1995)

Cette région à relief peu accusé, riche en eau, est de fraîche à froide en hiver et de chaude à fraîche en été. Elle est dominée par une multitude de lacs d'une grande diversité ainsi que par les TERRES HUMIDES et les ruisseaux qui leur sont associés. Elle comprend les Grands Lacs laurentiens, de plus petits lacs glaciaires, des cours d'eau et des terres humides depuis la limite sud du pergélisol jusqu'à la limite sud de la glaciation du Wisconsin. Les lacs occupent une place de premier plan dans notre analyse en raison de l'envergure et de l'intensité actuelles de la recherche lacustre. Les processus et conditions physiques et biologiques de ces systèmes sont sensibles à un éventuel changement climatique, de même que les valeurs humaines qui s'y rattachent. D'après les paléoanalyses des sédiments lacustres et les séries chronologiques de données météorologiques et de phénologies des glaces, la région est plus chaude et plus humide aujourd'hui qu'il y a plusieurs centaines d'années. Les températures observées de l'air, résumées à partir de 1911 pour la région des Grands Lacs et du Saint-Laurent, augmentent au taux d'environ 0,11° C (printemps) et 0,06° C (hiver) par décennie, peu de changements ayant été constatés pour l'été et l'automne. De même, les précipitations annuelles augmentent au taux de 2,1 % par décennie. Les dates du dégel sur certains lacs indiquent que les températures de fin d'hiver se sont réchauffées d'environ 2,5° C depuis le milieu du XIX^{e} siècle. D'après les scénarios tirés des **modèles de circulation générale** (MCG), la **multiplication par deux du gaz carbonique** (2 x CO_2) réchaufferait la température de 6 à 10° C (hiver) et de 4 à 5° C (été). Toujours selon ces scénarios, l'été serait plus sec dans l'ouest de l'Ontario (- 20 %), mais changerait peu ou augmenterait légèrement ailleurs. L'hiver serait plus humide dans l'ouest de l'Ontario et le nord du Minnesota, du Wisconsin et du Michigan (+ 20 %), mais accuserait peu de changement ou de légères diminutions ailleurs.

Deux facteurs prépondérants ont façonné nos réflexions : 1) la vaste gamme des changements attendus et 2) les différentes réactions escomptées dans la région. Parmi les changements possibles, il faut citer la limnologie physique; l'hydrologie par rapport aux niveaux de l'eau, à l'altération atmosphérique et aux durées de résidence; le rayonnement solaire eu égard à l'évolution de l'ennuagement, aux concentrations de **carbone organique dissous** (COD) et à la teneur en oxygène des eaux profondes et enfin la distribution, la croissance et la persistance des poissons. Les facteurs propres au bassin-versant et au lac ont été jugés cruciaux.

Nous avons utilisé différents modèles limnologiques pour que le champ des scénarios climatiques des modèles de circulation générale englobe les scénarios limnologiques. Si l'on multiplie par deux le gaz carbonique, ces modèles révèlent des températures des cours d'eau qui suivent la température de l'air, une température lacustre estivale plus élevée de 1 à 7° C dans l'épilimnion et de 6° C plus basse à 8° C plus élevée dans l'hypolimnion, des couches de saut de 4 m plus profondes ou moins profondes, des thermoclines plus tranchées et des réductions de plusieurs mois du manteau glaciel, et même l'absence de manteau glaciel à certaines latitudes. Au sud, la perte de glace sur certains lacs au cours de certaines années montre que les lacs dimictiques deviendraient monomictiques et circuleraient l'hiver; la stratification estivale s'allongerait. Au nord, certains lacs actuellement monomictiques qui circulent en été se stratifieraient pendant cette saison et deviendraient dimictiques. Les lacs dimictiques profonds seraient moins susceptibles d'une circulation complète. Tous ces changements influeraient sur les écosystèmes lacustres.

Les scénarios hydrologiques qui prennent pour hypothèse un climat plus chaud et plus sec accusent des niveaux d'eau moins élevés dans les lacs, ce qui modifierait les TERRES HUMIDES, les possibilités de reproduction des poissons et les substrats du benthos littoral tout en augmentant la demande d'eau à des fins agricoles et autres. Pour le lac Michigan, divers scénarios de multiplication du CO_2 produisent une diminution du niveau de l'eau de 1,25 à 2,5 m. En ce qui concerne la berge de la région de Chicago qui se trouve du côté de l'Illinois, on estime que l'augmentation des coûts du dragage, de la prolongation des prises d'eau, de la transplantation des aménagements des plages et de la prolongation des émissaires d'évacuation des égouts pluviaux représenterait de 280 à 540 millions de dollars. Comme autres répercussions économiques directes, citons l'augmentation du coût des transports sur les Grands Lacs laurentiens et la production réduite d'hydroélectricité à Niagara Falls.

La baisse de l'écoulement réel en cas d'assèchement et de réchauffement du climat affecterait les processus biogéochimiques; elle ralentirait par exemple la météorisation des roches silicatées et diminuerait les flux de solutés dans les lacs. Inversement, l'augmentation concomitante de la durée de séjour dans l'eau provoquerait des concentrations plus fortes de soluté et une plus grande alcalinisation interne. L'abaissement de la nappe aquifère des terres marécageuses pourrait réduire l'étendue de milieux qui se rétrécissent déjà, accroître les flux acides et diminuer le COD et les oligo-éléments dans les eaux de venue. La diminution du COD devrait augmenter la limpidité de l'eau, rendre la couche de saut plus profonde, multiplier les algues benthiques et les invertébrés. Des changements logiquement prévisibles de ce genre ont été constatés dans la région des lacs expérimentaux de l'ouest de l'Ontario au cours des 20 dernières années de réchauffement et d'assèchement progressif du temps.

Écothermes aérobies, les poissons devraient réagir fortement aux changements de température et de teneur en oxygène. En général, les simulations fondées sur les scénarios climatiques, tant pour les grands lacs que pour les petits, augmentent l'habitat thermique pour les poissons d'eau chaude, d'eau fraîche et même d'eau froide si l'oxygène ne s'épuise pas en eaux profondes. Les scénarios accusent également une croissance corporelle plus forte s'il y a assez de nourriture pour satisfaire les exigences métaboliques qui augmentent avec la chaleur. Pour certains scénarios et latitudes plus extrêmes, on voit augmenter la probabilité que les températures atteignent des niveaux mortels pour les poissons d'eau fraîche comme pour ceux d'eau chaude. Les simulations donnent aussi à entendre que l'anorexie des eaux profondes est plus probable, ce qui pourrait faire disparaître les poissons d'eau froide. La nappe phréatique et les cours d'eau plus chauds provoqueraient une réduction de l'habitat et la disparition de certaines populations ichtyologiques d'eau froide et d'eau fraîche.

Les lacs et cours d'eau locaux ne montrent pas nécessairement des réactions cohérentes aux mêmes changements climatiques et à la variabilité du climat. Les lacs absorbent les changements sur des périodes différentes parce que le temps de rétention de leurs eaux, influencées par leurs dimensions et leurs eaux de venue, diffère d'un lac à l'autre. Les facteurs spatiaux spécifiques qui modifient les réactions hydrologiques des lacs aux changements climatiques sont le climat régional, le cadre géomorphologique et les substrats, la profondeur moyenne, le rapport entre la superficie du lac et celle de son bassin hydrographique ainsi que celui entre le volume du lac et celui des réserves totales du bassin. Les différentes réactions hydrologiques peuvent interagir avec les différences de structure et de fonction de l'écosystème. La réduction du manteau glaciel peut réduire la martégade des poissons dans un lac forestier peu profond, mais augmenter la mortalité des oeufs de poisson blanc dans les baies des Grands Lacs laurentiens. Cette disparité résulte non seulement des différences physiques entre les lacs minuscules et les grands lacs, mais encore des différences de cycle biologique et de physiologie de leurs espèces.

Nous avons cerné cinq besoins généraux en matière de recherche :

- maintenir et élargir les recherches et le suivi à long terme dans les endroits cruciaux;
- améliorer les modèles de comportement des systèmes aquatiques et les confronter aux données à long terme et aux expériences de manipulation sur le terrain;
- améliorer les modèles climatiques pour y inclure les données sur les vents et les nuages et les mettre à une échelle temporelle et spatiale mieux adaptée aux analyses des sous-régions;
- reconnaître l'hétérogénéité des réactions possibles et élaborer une théorie prédictive de cette hétérogénéité;
- entreprendre des études de laboratoire sur la réaction des poissons aux régimes de température modifiés.

2.7.3 Démarche binationale à l'égard des Grands Lacs

Le projet du **Bassin des Grands Lacs et du Saint-Laurent** (BGLSL) relatif à «l'adaptation aux répercussions du changement climatique et de la variabilité du climat» est une évaluation intégrée des incidences du climat dirigée par le Service de

l'environnement atmosphérique d'Environnement Canada (Mortsch, 1994). Il a pour objectifs de déterminer les effets de la variabilité et de l'évolution du climat dans quatre secteurs — gestion de l'eau, utilisation et gestion du sol, santé de l'écosystème et santé humaine — et de montrer comment on peut élaborer des stratégies d'adaptation afin de réduire la vulnérabilité.

Plusieurs concepts d'étude ont été conçus au cours de deux ateliers de consultation organisés en 1993, sous le parrainage de **l'Association de climatologie du Québec** (ACLIQ), de Santé Canada et d'Environnement Canada à Québec et à Montréal (Mortsch *et al.*, 1993; ACLIQ, 1993). Huit projets de recherche en collaboration sont actuellement à divers stades de réalisation (Mortsch, 1994).

Un atelier sur le changement climatique planétaire s'est déroulé du 6 au 8 décembre 1993 à Ypsilanti, dans le Michigan, sous l'égide du **Great Lakes Environmental Research Laboratory** (GLERL) de la **National Oceanic and Atmospheric Administration** (NOAA), du **Cooperative Institute for Limnology and Ecosystems Research** (CILER) et de la Great Lakes Commission. L'administrateur de la NOAA avait chargé le GLERL d'élaborer la composante américaine d'une étude binationale sur les effets du changement climatique planétaire dans les Grands Lacs. L'atelier avait pour objectif de rattacher l'étude à l'initiative en cours, coordonnée par le Service de l'environnement atmosphérique du Canada. Le programme de l'atelier comprenait donc les éléments suivants :

- évaluation de la situation actuelle de la recherche sur le changement planétaire et analyse des impacts dans le bassin des Grands Lacs;
- définition des besoins non comblés dans ces domaines;
- élaboration d'un plan de recherche pour les États-Unis sur les effets du changement climatique dans le bassin des Grands Lacs de manière à combler ces besoins et à jeter les bases de stratégies d'adaptation à l'échelle du bassin.

L'atelier (Ryan *et al.*, 1994) comprenait neuf exposés officiels et cinq groupes de discussion à bâtons rompus sur des questions relatives à l'évaluation socio-économique et aux impacts en la matière, à la salubrité de l'écosystème et à la santé publique, aux mesures à long terme concernant le paysage, aux systèmes physiques et climatiques ainsi qu'à la gestion de l'eau et aux politiques en la matière.

On peut résumer comme suit les principales conclusions et recommandations : les effets éventuels du changement et de la variabilité climatiques pourraient avoir plusieurs conséquences sur la trame économique, environnementale et sociale du bassin des Grands Lacs; ainsi :

- il y aurait lieu d'entreprendre une étude pour examiner les incidences éventuelles du changement climatique et les stratégies d'adaptation et d'atténuation susceptibles de remédier aux conséquences possibles;
- il faudrait utiliser le procès-verbal de l'atelier comme base d'un plan d'étude pour les États-Unis.

Un comité Canada-États-Unis s'est réuni à l'automne de 1994 et au printemps de 1995 pour préparer un symposium binational pour 1996 et pour mettre au point un plan binational de mise en oeuvre qui servirait de mandat à un projet sur le changement climatique dans le bassin des Grands Lacs et du Saint-Laurent.

Le Conseil constate que la participation de la NOAA à ce projet constitue une réponse à sa recommandation présentée dans son rapport de 1993, à savoir que «les Parties doivent élaborer et exécuter un programme binational à l'égard du changement climatique mondial grâce à l'étude intégrée du bassin des Grands Lacs, qui tiendrait lieu de projet pilote régional». Une démarche de ce genre qui, sous l'égide de la NOAA et d'Environnement Canada, met en cause des organismes provinciaux et d'État, montre bien les avantages qui peuvent s'offrir quand on réussit à assurer une coopération et un accord scientifique bilatéraux sur une question importante.

Objectifs et cadre de la recherche

Le but du plan de mise en oeuvre binational est d'entreprendre des recherches qui feront mieux connaître les interactions complexes entre le changement et la variabilité climatiques, l'environnement et nos systèmes économiques et sociaux de manière à pouvoir élaborer des stratégies d'adaptation régionales éclairées pour assurer l'aménagement durable de la région.

Pour atteindre ce but, le programme de recherche est axé sur les objectifs suivants :

- élaboration d'indicateurs du changement climatique qui permettront de déterminer les sensibilités et les seuils;
- définition quantitative, obtenue par des mesures, des réactions et des adaptations des activités et des systèmes aux incidences directes et indirectes du changement climatique et de la variabilité du climat;
- définition et évaluation des stratégies d'adaptation;

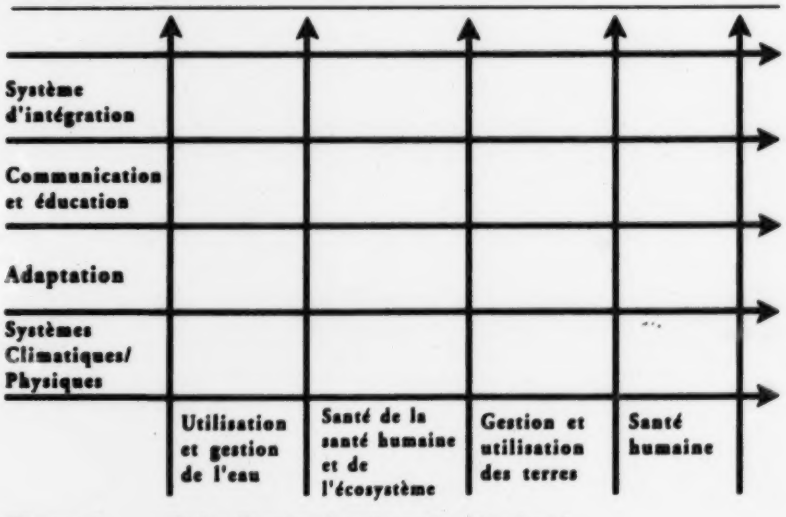


Figure 3. Cadre d'intégration du projet binational

- «unification» (liaison et coordination) des évaluations des incidences biophysiques et socio-économiques et des mesures d'adaptation possibles;
- communication des incidences et des résultats de l'adaptation à des décideurs choisis et aux groupes touchés, de même qu'au public et au monde scientifique.

La réalisation de ces objectifs sera confiée à un programme de recherche complet où s'allieront les préoccupations scientifiques et stratégiques, d'après un cadre composé de thèmes et de sujets qui se recoupent.

Quatre thèmes spécifiques sensibles au climat ont été déterminés et cinq sujets de recherche qui se recoupent élaborés pour polariser et unifier le programme de recherche binational. Le cadre de recherche est une matrice (figure 3) qui relie les thèmes à la gamme de sujets de recherche à intégrer aux études associées au projet. La matrice montre aussi que les questions sensibles au climat sont unifiées et reliées et que les incidences et les stratégies d'adaptation dans ces secteurs s'influencent mutuellement.

Un important projet de recherche proposé par la Commission des Grands Lacs renforcera plus particulièrement la compréhension des interactions climat-être humain et ce faisant, permettra de déterminer des politiques et des méthodes de gestion propres à favoriser l'adaptation humaine aux fluctuations du climat et l'élaboration d'un programme de gestion des ressources en eau des Grands Lacs. Ce programme est un cadre stratégique qui doit instaurer un mécanisme par lequel les instances gouvernementales du bassin des Grands Lacs peuvent prévoir les incidences du changement climatique et s'y adapter grâce à l'utilisation, à la protection et au développement judicieux de leurs ressources communes en eau.

Possibilités de recherche

Souple et global, le cadre de recherche sert de base aux initiatives de recherche ultérieures qui enrichiront la base de connaissances du projet binational à mesure que les possibilités se présenteront. Parmi les secteurs d'étude bien précis qui bénéficieraient de recherches nouvelles, citons :

- l'évaluation des répercussions du changement climatique sur la santé humaine;
- l'effet de la variabilité et de l'évolution du climat sur les secteurs préoccupants et la mise en oeuvre de mesures correctrices;
- l'impact de la variabilité et de l'évolution du climat sur la nappe phréatique, les processus en jeu dans les écosystèmes, les milieux humides, la diversité biologique, la circulation dans les lacs et la qualité de l'eau;
- l'impact de l'évolution des conditions agroclimatiques sur les pratiques agricoles;
- l'impact du changement climatique sur les charges atmosphériques et le transport à grande distance des substances toxiques.

La recherche actuelle sur l'évaluation des incidences du changement climatique vise en grande partie la portion sud du bassin, reléguant au second plan les lacs Supérieur et Huron, le fleuve Saint-Laurent et les plans d'eau intérieurs.

2.7.4 Conclusions et recommandations

Le Conseil consultatif scientifique félicite les Parties d'avoir mis au point un programme de recherche global et intégré qui porte sur nombre des principaux problèmes posés par le changement climatique dans les Grands Lacs. Faisons remarquer qu'un symposium est prévu pour 1996, à titre de suivi de l'assemblée binationale qui s'est tenue pour la première fois à Chicago en 1988. Ce symposium donnera aux chercheurs une excellente occasion de s'entretenir des efforts mondiaux et régionaux actuels et de les intégrer afin d'élargir le projet de 1988 d'élaboration d'une étude intégrée du bassin des Grands Lacs en un projet pilote régional d'intervention internationale à l'égard du changement climatique planétaire. La CMI a repris récemment cette recommandation dans son *Septième rapport biennal.*

Le projet de plan binational de mise en oeuvre prévoit ce genre d'étude intégrée, à condition qu'il reçoive l'appui des Parties jusqu'à son achèvement en l'an 2001. Par conséquent, le Conseil consultatif scientifique recommande que :

- **les Parties soient encouragées à appuyer la préparation du plan binational de mise en oeuvre jusqu'en l'an 2001 conformément à l'échéancier au tableau 6;**

- **les Parties parrainent un symposium quinquennal sur le changement climatique dans le bassin des Grands Lacs et le poursuivent après la manifestation prévue pour 1996 pour en faire une importante tribune scientifique où l'on débattra du changement climatique et où l'on mesurera les progrès accomplis dans l'évaluation du changement climatique et l'adaptation à celui-ci;**

- **la recommandation formulée dans le rapport de 1993 du Conseil consultatif scientifique, demandant aux Parties de prendre des engagements à long terme en matière de recherche sur le changement climatique en vertu de l'annexe 17 de l'Accord relatif à la qualité de l'eau dans les Grands Lacs et de rendre compte des progrès de manière globale et systématique dans le cadre d'un rapport sur l'état de l'écosystème du bassin des Grands Lacs, fasse l'objet d'un nouvel examen et soit priorisée dans les recommandations de la CMI aux Parties.**

PHASE	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
Phase 1							
Activités (actuelles)	C, W, L, H, E, SE, A, S	W, C, E, SE, A	W, C, L, H				
Phase 2							
Activités (GL 2000 et financement binational)		Étude régionale de la pollution atmosphérique Terres humides Tendances du bassin-versant Substances toxiques atmosphériques NA3E* S Facteurs socio-économiques					
Phase 3							
Activités (question stratégique binationale - gestion de l'eau)			Documents de base S Jeu de simulation de situations réelles Scénarios de gestion et de détournement des eaux				
Étapes	• Rapport canadien d'avancement des travaux Rapports binationaux sur les scénarios	• Symposium binational	• Rapports et articles des études individuelles du rapport de la phase 1	• Évaluation par les intervenants		• Rapports et articles des études individuelles du rapport de la phase 2	• Symposium binational Rapport final

SUJET DE RECHERCHE				THÈME SENSIBLE AU CLIMAT			
S	Intégration du système	A	Adaptation	W	Utilisation et gestion de l'eau	L	Utilisation et gestion des sols
CE	Communications et éducation	SE	Effets socio-économiques	E	Santé de l'écosystème	H	Santé humaine
		C	Régimes climatiques et physiques				

Tableau 6. Calendrier des activités du projet relatif au bassin des Grands Lacs et du Saint-Laurent

* NA3E = Modèle environnemental, économique et énergétique nord-américain

2.8 DÉFINITION ET ÉVALUATION DES PROBLÈMES NOUVEAUX

2.8.1 Introduction

Le Groupe de travail sur les problèmes nouveaux a mené une enquête sur les problèmes nouveaux possibles, tant dans la région des Grands Lacs que plus généralement de par le monde, et a procédé à leur analyse. L'objectif était de cerner les questions importantes pour **l'Accord relatif à la qualité de l'eau dans les Grands Lacs** (AQEGL), mais qu'on n'avait pas encore explicitement posées ou qui ne retenaient pas l'intérêt. Nous présentons les résultats ici pour donner matière à réflexion et à discussion, de même que pour fournir une base aux propositions destinées à l'établissement des priorités de la Commission mixte internationale.

2.8.2 Enquête dans la région des Grands Lacs

Cette enquête s'est faite sous l'égide du Groupe de travail sur les problèmes nouveaux au printemps et en été 1994. Nous présentons brièvement ci-dessous le processus en trois étapes et ses résultats :

- Le groupe a soumis les membres du Conseil de la qualité de l'eau, du Conseil consultatif scientifique et du Conseil des gestionnaires de la recherche des Grands Lacs à un sondage afin de cerner les problèmes, d'en indiquer l'importance et de donner des recommandations quant à leur solution. Il a évalué la liste initiale de 31 sujets proposés par les répondants pour voir si, à leur avis, il s'agissait de problèmes nouveaux et s'ils faisaient déjà l'objet d'un effort de recherche. Le Groupe de travail a retenu 11 sujets à des fins de suivi.

- Le sous-ensemble des 11 sujets a été remis à tous les répondants d'origine, qui ont été priés d'attribuer à chacun de ces problèmes nouveaux une priorité forte, moyenne ou faible. Leurs réponses ont été classées par deux méthodes : selon que les répondants considéraient à l'unanimité chaque sujet comme fortement, moyennement ou faiblement prioritaire et selon la cote globale. Les deux méthodes ont donné des résultats légèrement différents; elles ont été choisies pour vérifier différentes approches analytiques plutôt que pour fournir une évaluation comparative.
  - Méthode 1. Cette méthode faisait place aux opinions de la minorité lorsqu'un sujet était jugé fortement prioritaire par certains répondants et à priorité moyenne par d'autres ou bien moyennement prioritaire par certains et à faible priorité par d'autres. Aucun problème ne s'est retrouvé dans les trois catégories.
  - Groupe à forte priorité classement le plus élevé de la part de tous les répondants
  - Groupe à forte et moyenne priorité classement élevé ou moyen des répondants
  - Groupe à moyenne et faible priorité classement moyen ou faible des répondants
  - Méthode 2. Les cotes attribuées — élevé = 3, moyen = 2 et faible = 1 — ont été additionnées pour donner la cote totale de tous les répondants (tableau 6).

- Chaque sujet a ensuite été évalué en fonction de l'effort de recherche, déterminé d'après l'inventaire de recherches 1991-1992 du Conseil des gestionnaires de la recherche des Grands Lacs (inclus au tableau 7). Le Groupe de travail connaissait bien les limites de l'inventaire admises dans le rapport et a considéré les catégories de recherche comme une indication générale du degré d'effort consacré à chacune. Il n'a pas essayé de rattacher les projets de recherche qui y sont classés aux problèmes nouveaux. Les sujets dont il a constaté qu'ils bénéficiaient d'un financement considérable se rapportent aux produits chimiques toxiques, aux organismes exotiques, à l'approche basée sur les écosystèmes et à la santé humaine. Ces résultats montrent que les répondants ont eu de la difficulté à distinguer les questions importantes pour les Grands Lacs des problèmes nouveaux qui se dessinent à leur égard. Nous avons posé en principe que les questions importantes étaient celles qui étaient classées comme fortement prioritaires tout en bénéficiant de considérables subventions de recherche et que les problèmes nouveaux étaient ceux qui se voyaient attribuer une priorité forte ou moyenne, voire faible, mais qui bénéficiaient de peu ou point de fonds de recherche.

Conclusions

L'évaluation a permis de cerner plusieurs problèmes nouveaux possibles, en l'occurrence des questions jugées d'une certaine importance, mais qui ont retenu peu ou point l'attention si l'on en croit l'envergure des fonds de recherche dont elles bénéficient d'après l'inventaire des recherches sur les Grands Lacs (CMI, 1993). Le développement durable a été clairement perçu comme un problème nouveau qui justifie des études ultérieures. En résumé, les problèmes nouveaux sont les suivants :

1. développement durable;
2. stabilité des niveaux de l'eau;
3. effets des UV-B sur les biotes;
4. répercussions diverses de **l'Accord de libre-échange nord-américain** (ALENA);
5. choix de vie comme facteur de l'intégrité des écosystèmes;
6. fréquence de l'endométriose chez les femmes qui mangent des poissons des Grands Lacs.

Table 7.
Problèmes nouveaux : résultats de l'enquête et effort de recherche actuel d'après l'inventaire 1991-1992 des recherches du Conseil des gestionnaires de la recherche des Grands Lacs (CGRGL)

	MÉTHODE 2. Rang fondé sur la cote globale	MÉTHODE 1. Rang fondé sur une cote unanime			EFFORT DE RECHERCHE ACTUEL fondé sur l'inventaire 1991-1992 des recherches du CGRGL (CMI,1993)		
		Élevé	Élevé et moyen	Moyen et bas	Nombre de projets	Financement (en millions de $ U.S.)	Référence et commentaires (voir figures et tableaux dans le rapport)
1	Comment mesurer le développement durable pour les Grands Lacs?	5	1	1	Non déclaré comme activité de recherche		
2	Substances toxiques persistantes de sources diffuses	1	2	10	78	10.3	Figure 3, atmosphère et Tableau 7, source secondaire
3	Introduction permanente d'espèces aquatiques non indigènes, agriculture	3	3	8	181	12.0	Tableau 3
4	Comment mettre en oeuvre une approche basée sur les écosystèmes	2	4	9	200	16.0	Figure 10
5	Transport à grande distance des produits chimiques toxiques persistants déposés dans le bassin des Grands Lacs	4	4	10	47	8.5	Tableau 9
6	Choix de vie comme facteur de l'intégrité des écosystèmes	6	9	5	18	1.0	Figure 10. Élément socio-économique
7	Fréquence de l'endométriose chez les femmes qui mangent des poissons des Grands Lacs	7	8	9	23	3.3	Tableau 8. Effort total de recherche sur les effets sur la santé; recherches particulières non déclarées
8	Effets des UV-B sur les biotes	10	6	3	<12	.1	Estimation
9	ALENA. Répercussions sur la CMI, commerce et environnement, Agenda 21, biodiversité, climat	8	6	5	Non déclaré comme activité de recherche		
10	L'ALENA autorise-t-il l'eau à être une denrée et à être traitée comme telle?	9	6	3	Non déclaré comme activité de recherche		
11	Stabilité des niveaux de l'eau dans les Grands Lacs	11	11	2	5	0.2	Figure 11

2.8.3 Relevé mondial des priorités au-delà de la région des Grands Lacs

Introduction

Cette enquête consistait à relever les objectifs généraux ou les thèmes futurs qui, dans les documents d'orientation de toute la planète, présentaient éventuellement des rapports avec les problèmes nouveaux qui se dessinent pour les Grands Lacs laurentiens. L'information a été recueillie auprès de divers conseils, commissions, organisations ou instituts internationaux et nationaux et les documents remis ont été examinés et évalués. Cette démarche a livré des indications plutôt qu'une information complète, mais elle a fait jaillir des idées et a rendu le Groupe de travail plus conscient des problèmes susceptibles d'avoir de l'importance pour la Commission mixte internationale.

Constatations

Les problèmes, en particulier ceux qui ont été définis par les organisations internationales, sont souvent plus vastes que ceux que prévoient l'AQEGL ou les programmes de recherche binationaux des Parties. Au palier national, les priorités sont mieux délimitées et donnent à réfléchir. Collectivement, les priorités et les problèmes mondiaux forment un contexte utile pour susciter des idées sur les problèmes nouveaux dans les Grands Lacs laurentiens.

Nous présentons brièvement les buts de l'organisation ou les problèmes déterminés par elle dans le tableau 8. Comme on pouvait s'y attendre, de nombreux problèmes sont expressément mentionnés, mais d'autres ne se manifestent qu'à des échelons inférieurs de la hiérarchie, dans les noms ou les sigles des documents consacrés à la définition des objectifs ou des articles analytiques.

Trois organisations sont des sources citées d'information sur les priorités, les objectifs et les thèmes, information qu'on peut obtenir sous une forme plus détaillée :

- Le **Comité scientifique sur les problèmes de l'environnement** (SCOPE) au sein du Conseil international des unions scientifiques

SCOPE 1993 comprend des projets en cours ou au stade préparatoire dans le programme actuel. Les projets sont proposés par les pays membres ou les organisations internationales; ils sont approuvés et mis en train par décision de l'Assemblée générale. Le programme actuel présente cinq volets :

- Le volet de la pérennité est un vaste domaine nouveau qui regroupe les principaux efforts interdisciplinaires consentis pour mettre à profit les connaissances écologiques et socio-économiques qui s'imposent si l'on veut trouver les moyens d'assurer la pérennité de la biosphère. Il y a de considérables chevauchements entre ce sujet et les quatre autres volets.
- Le volet des cycles biogéochimiques se concentre sur les éléments essentiels et les substances toxiques, notamment les radionucléotides. Exemples : le cycle du phosphore et son interaction avec le cycle d'autres éléments présents dans les écosystèmes terrestres et aquatiques; la contamination de la nappe phréatique; le flux de particules dans les océans; le transport et la transformation de l'azote; les radiations des essais nucléaires.
- Le volet des changements planétaires évalue les effets de divers changements systémiques ou cumulatifs du milieu mondial en liaison avec le **Programme international géosphère-biosphère** (PIGB), qui met en oeuvre des programmes de recherche. Deux projets de recherche dignes de mention : les effets de l'augmentation des UV-B sur les systèmes biologiques et les effets de l'activité humaine sur les processus terrestres des dépôts meubles et la pérennité des utilisations du sol.
- Le volet des écosystèmes et de la biodiversité s'attache aux processus des écosystèmes que touche l'évolution de l'environnement et aux pertes de diversité biologique, surtout sous le rapport des fonctions des écosystèmes. Il compte cinq projets : bilans des matières organiques; changement climatique dans les forêts de conifères et les prairies; écotones dans un milieu en évolution; rôle de la biodiversité dans les écosystèmes; dynamique des systèmes mixtes des prairies arborescentes.
- Le volet de la santé et de l'écotoxicologie met au point des méthodes pour évaluer les risques chimiques que courent les êtres humains et d'autres organismes, ainsi que des études de cas de contamination de l'environnement. Il compte trois projets : les méthodes propres à évaluer les effets des agents chimiques sur les écosystèmes; les méthodes d'évaluation du risque pour la toxicologie neurocomportementale; le cycle du mercure dans les écosystèmes.

- **Système mondial de surveillance continue de l'environnement** (SMSCE)

Le SMSCE conçoit et élabore une surveillance mondiale de la qualité de l'eau en adoptant les priorités suivantes :

- qualité de l'eau potable
- eutrophisation
- gestion des eaux urbaines
- qualité des eaux plaisancières
- pollution microbiologique

Le tableau 9 donne la liste des principaux problèmes généraux de qualité de l'eau à l'échelle du globe telle qu'elle a été dressée par le SMSCE.

- Rapport commun de l'**Alliance mondiale pour la nature** (UICN), du **Programme des Nations Unies pour l'environnement** (PNUE) et du **Fonds mondial pour la nature** (WWF)

L'UICN (UICN/PNUE/WWF, 1991) se ne sttatégie de vie ddddble. Ses ii iités en matièèe d'' tilisatii n ddddble des eaax dddces ss nt les ss ivantes :

- amélii iee l'inff fmatii n et la ff fmatii n
- faiie miee x cc nnaîtte le ff nctii nnement dd cycle de l'eaa aaa aaaaat à l'' tilisatii n des teeees
- teeees hhmides et aa ttes nités de l'éccsystème
- géée la demande en eaa à des fins de éé aatitii n efficace et éqqitable
- egggggee la gestii n des eaax et la gestii n des teeees intt nsifii iilaccc c ééatii nnintt tnatii nall lss ssll ssqqqptii ns ss lativvsss l'' aa
- amélii ii iill sscaa acitéssddssinstitt tii nsss tddssccllll ctivités ddggéééétd'' tilisss ssll sss aa xddddccssddddnanièèèddddbll cc nsss svvvlaadiv Yhtéélddss ss èccssaqqatiqqqpss tddddtt ck génétiqqq

Tableau 8.
Groupe de travail du Conseil consultatif scientifique sur les problèmes nouveaux : sommaire des interventions internationales

	ORGANISME	PRIORITÉS	PROCESSUS	INTERVENTION
1.	Nations Unies	• Convention cadre sur le changement climatique	• Les gouvernements doivent déclarer les émissions de gaz à effet de serre; objectifs de réduction	• Évaluation des progrès au cours de réunions régulières
		• Convention sur la diversité biologique	• Élaboration d'un plan de protection des ressources biologiques	• Canada : préparation d'une stratégie sur la biodiversité pour novembre 1994
		• Plan d'action 21	• Guide sur les liens entre l'environnement et l'économie dans le processus décisionnel aux paliers national et local	• Stratégies locales sur le développement durable • Canada 1994 : rapports sur les progrès nationaux
		• Déclaration de Rio	• Éthique internationale en matière d'environnement et de développement	• 27 principes
		• Principes de foresterie	• Essai de négociation d'une convention sur la foresterie de régie des problèmes écologiques mondiaux	• Conciliation de l'exploitation et de la protection des ressources grâce à des accords financiers entre les pays industrialisés et les pays en voie de développement
		• Projet d'Agence internationale de l'environnement et de Cour internationale de l'environnement	• Favoriser la création d'un système international	• Mécanisme institutionnel pour la mise en oeuvre du Plan d'action 21
2.	Institute of Freshwater Ecology. National Environment Research Council, R.-U.	• Gestion des pêches • Processus physico-chimique • Processus des écosystèmes • Modèles d'écosystèmes	• Programme gouvernemental de recherches • Offrir des contrats sectoriels	• Publication des résultats des études scientifiques
3.	Association grecque des écologistes	• Conservation des terres humides	• Publication de rapports des membres	• Diffusion des connaissances
4.	WRC Group	• Rôle d'expert-conseil privé auprès des services publics de distribution d'eau sur les problèmes de qualité et de développement	• Études sur demande en matière de lutte contre la pollution et de surveillance	• De nature consultative
5.	Institut de recherche sur l'eau et l'environnement, Finlande	• Changement climatique; cycle biochimique • Non ponctuelles : agriculture et foresterie	• Programmes de recherche et de surveillance comprenant 180 projets	• De nature consultative
6.	Comité scientifique sur les problèmes de l'environnement; Conseil international des unions scientifiques	• Pérennité • Cycles biochimiques (phosphore, nappe phréatique, azote) • Changement planétaire (UV-B, utilisation des sols) • Écosystèmes et biodiversité • Santé et écotoxicologie (méthodes d'évaluation, risque, cycle du mercure)	• Évaluation scientifique, réunions de spécialistes	• De nature consultative

	ORGANISME	PRIORITÉS	PROCESSUS	INTERVENTION
7.	Programme international géosphère-biosphère; Conseil international des unions scientifiques	• Aspects du cycle hydrologique qui touchent la biosphère • Changement planétaire et écosystèmes terrestres • Étude conjointe du flux des océans du globe • Interactions de la terre et de l'océan dans la zone côtière • Évolution de l'utilisation des sols et du couvert • Après le changement planétaire • Analyse, interprétation et modélisation planétaires • Data and information system • Système de données et d'information	• Système d'analyse, de recherche et de formation • Six questions clés : - Comment la chimie de l'atmosphère mondiale est-elle régulée et quel est le rôle des processus biologiques dans la production et la consommation de gaz à l'état de traces? - Quelle influence les changements mondiaux exerceront-ils sur les écosystèmes terrestres? - Quelle est l'interaction de la végétation avec les processus du cycle hydrologique? - En quoi l'évolution de l'utilisation des sols, du niveau des mers - et du climat modifiera-t-elle les écosystèmes côtiers et quelles sont les conséquences plus vastes de cette évolution? - Comment les phénomènes biogéochimiques de l'océan influencent-ils le changement climatique et y réagissent-ils? - Quels changements climatiques et écologiques importants y a-t-il eu dans le passé et quelles en étaient les causes?	• Programme international à l'appui des activités d'évaluation du Groupe intergouvernemental de la transformation du globe • Fondements scientifiques des décisions stratégiques internationales en collaboration avec le Programme des dimensions humaines du changement de l'environnement mondial et le Programme de recherches sur le climat mondial
8.	Commission économique européenne, Division de l'environnement et des établissements humains, Section de la pollution de l'air	• Action de réglementation en vertu de la Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance à propos des émissions et des flux of No_x de composés organiques volatils (COV) et de métaux lourds • Surveillance et modélisation des polluants atmosphériques • Vérification des émissions et suivi des engagements des Parties • Admission de nouveaux gouvernements membres au sein de la CEE (54 pays actuellement)	• Examen et évaluation	• Rapport, assemblées annuelles de l'organe exécutif
9.	Organisation mondiale de la santé, Système mondial de surveillance continue de l'environnement	• Qualité de l'eau potable • Qualité des eaux plaisancières • Eutrophisation • Pollution microbiologique • Gestion des eaux urbaines • Voir tableau 9	• Réunions de spécialistes qui conçoivent et mettent au point la surveillance mondiale de la qualité de l'eau	• Rapports d'étape sur la mise en oeuvre du plan d'action et de la stratégie de Mar del Plata • Évaluations mondiales pour appuyer les programmes des organismes de l'ONU. PNUE, OMS, UNESCO, OMM

LÉGENDE DES SIGLES :

CEE	= Commission économique européenne	PDHTEM	= Programme sur les dimensions humaines du changement de l'environnement mondial
PIGB	= Programme international géosphère-biosphère	ONG	= Organisme non gouvernemental
ONU	= Organisation des Nations Unies	U.S.	= United States
PNUE	= Programme des Nations Unies sur l'environnement	UNESCO	= Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture
OMS	= Organisation mondiale de la santé	OMM	= Organisation météorologique mondiale

Tableau 8. (Suite)

Groupe de travail du Conseil consultatif scientifique sur les problèmes nouveaux : sommaire des interventions internationales

	ORGANISME	PRIORITÉS	PROCESSUS	INTERVENTION
10.	Alliance mondiale pour la nature (UICN)	• Espèces menacées • Aires protégées • Géologie • Développement durable • Droit de l'environnement • Éducation et formation en environnement	• L'organisation compte parmi ses membres des scientifiques et des spécialistes d'organismes gouvernementaux, d'ONG et d'établissements de recherche de 120 pays • Travaux sur le terrain destinés à montrer comment utiliser judicieusement les ressources naturelles	• De nature consultative • Collabore avec le Bureau de la convention de Ramsar à propos de la Convention relative aux zones humides d'importance internationale particulièrement comme habitats de la sauvagine (la Convention de Ramsar); de 23 signataires en 1980 à plus de 70 en 1993
11.	Agence de protection de l'environnement de la Suède/ Conseil suédois de planification et de coordination de la recherche	• Vue de la nature	• Services d'expert-conseil	• Diffusion des connaissances
12.	Société royale du Canada, Programme canadien des changements à l'échelle mondiale	• Voir tableau 10 (Programme canadien des changements à l'échelle mondiale, 1992)	• Services d'expert-conseil	• Contribution canadienne au PIGB et au PDHTEM
13.	Rapport du Canada aux Nations Unies sur le développement durable	• Mise en oeuvre du Plan d'action 21	• Mise en commun de l'information sur les engagements du CNUED grâce aux rapports présentés à la Commission des Nations Unies sur le développement durable	• Rapports nationaux 1993-1997 afin de préparer l'examen par l'ONU de la réalisation des objectifs du Sommet de la Terre
14.	Global Environmental Research Office du R.-U.	• Évolution démographique et dimensions socio-économiques • Approches méthodologiques • UV-B • Impact sur l'agriculture • Biodiversité • Redistribution des ravageurs, des agents pathogènes et des maladies • Les sols en tant que sources et pièges • Amélioration des travaux maritimes • Villes et pérennité • Énergies de rechange	• Cadre de recherche	• De nature consultative

LÉGENDE DES SIGLES :

CEE	= Commission économique européenne	PDHTEM	= Programme sur les dimensions humaines du changement de l'environnement mondial
PIGB	= Programme international géosphère-biosphère	ONG	= Organisme non gouvernemental
ONU	= Organisation des Nations Unies	U.S.	= United States
PNUE	= Programme des Nations Unies sur l'environnement	UNESCO	= Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture
OMS	= Organisation mondiale de la santé	OMM	= Organisation météorologique mondiale

Tableau 9.
Caractéristiques générales des principaux problèmes de qualité de l'eau à l'échelle du globe

Problème de qualité	Plans d'eau principalement visés	Principal secteur problème	Délai entre causes et effets	Échelle spatiale du problème[a]
Agents pathogènes	++cours d'eau +lacs +nappes phréatiques	++santé	< 1 an	locale
Pollution organique	++cours d'eau +lacs +nappes phréatiques	++milieu aquatique	< 1 an	locale
Salinisation[b]	++nappes phréatiques +cours d'eau	++la plupart des usages +milieu aquatique +santé	1 à 10 ans	régionale
Pollution par l'azote	+cours d'eau	+santé	> 10 ans	régionale
Métaux lourds	tous les plans d'eau	+santé +milieu aquatique +flux des océans	de < 1 à > 10 ans	de locale à mondiale
Pesticides et matières organiques industrielles	tous les plans d'eau	+santé +milieu aquatique +flux des océans	1 à 10 ans	de locale à mondiale
Acidification[c]	++cours d'eau, lacs +nappes phréatiques	+milieu aquatique +santé	> 10 ans	régionale
Eutrophisation[c]	++lacs +cours d'eau	++milieu aquatique +santé	> 10 ans	locale
Charge sédimentaire[d]	+cours d'eau	+milieu aquatique +la plupart des usages +flux des océans	1 à 10 ans	régionale
Modifications hydrologiques[e]	++cours d'eau	++milieu aquatique	1 à 10 ans	régionale

\+ question importante à l'échelle mondiale
++ question très importante à l'échelle mondiale

[a] y compris transport atmosphérique des polluants
[b] y compris fortes teneurs en fluor ou arsenic
[c] y compris charges des cours d'eau en substances nutritives
[d] augmentation ou diminution des charges
[e] détournement de l'eau, construction de barrage et surpompage des aquifères

Source : OMS/PNUE, 1991

Tableau 10.
Centres d'intérêt du Programme canadien des changements à l'échelle mondiale sous le rapport des principaux problèmes posés par la transformation du globe

CENTRES D'INTÉRÊT DU PROGRAMME CANADIEN DES CHANGEMENTS À L'ÉCHELLE MONDIALE	THÈMES RELATIFS AU CHANGEMENT MONDIAL						
	Changement climatique	Consommation d'énergie et de ressources	Pollution de l'air et de l'eau	Appauvrissement de l'ozone stroposphérique	Augmentation de la population	Épisodes d'extinction	Dégradation des terres et des sols
Zones critiques	•	•	•	•	•	•	•
Systèmes de données et d'information	•	•	•	•	•	•	•
Sécurité	•	•	•	•	•		•
Ressources renouvelables	•	•			•	•	•
Recherches sur les écosystèmes et surveillance des écosystèmes	•		•	•		•	•
Culture et valeurs		•	•		•	•	•
Arctique	•		•	•		•	
Climat, océans et hydrologie	•	•	•	•			
Énergie	•	•	•		•		
Santé humaine	•		•	•	•		
Milieux passés	•					•	

Source: Programme canadien des changements à l'échelle mondiale, 1992

Conclusion

Les documents cités énumèrent les problèmes auxquels s'intéresse éventuellement déjà la CMI et qui pourraient présenter de l'intérêt dans le cas des Grands Lacs. Plusieurs des thèmes relevés dans le cadre de l'enquête mondiale se retrouvent dans notre étude de la région des Grands Lacs (tableau 9). Les plus remarquables sont peut-être ceux qui se rapportent à l'utilisation et au développement durables et dont les différents documents font état. Les deux enquêtes mettent également en évidence les effets biologiques des UV-B. Plusieurs thèmes généraux qui ne faisaient pas figure de problèmes nouveaux fortement prioritaires dans notre étude des Grands Lacs figurent en bonne place dans l'enquête mondiale. Deux d'entre eux sont dignes de mention : la question générale de la biodiversité, surtout par rapport au rôle de l'écosystème, et le changement climatique mondial. Le premier thème, celui de la biodiversité, est très voisin d'un problème plus particulier qui retient l'attention dans les Grands Lacs; peut-être même peut-il lui être assimilé dans une certaine mesure : il s'agit des invasions d'organismes exotiques et de leurs effets. Le Groupe de travail sur les problèmes nouveaux s'intéresse au second à titre d'information, de même que le Conseil consultatif scientifique l'a fait dans ses rapports précédents. Ce problème ne constitue pas une responsabilité précise sous le régime de l'Accord relatif à la qualité de l'eau dans les Grands Lacs.

2.8.4 Recommandation

Le Groupe de travail sur les problèmes nouveaux recommande que :

- l'on considère comme des questions à débattre en priorité pendant les deux prochaines années les problèmes jugés éventuellement importants par la Commission mixte internationale. Il s'agit de problèmes complexes, surtout celui de la durabilité qui a resurgi lors de chaque sondage, dont la solution exigerait les ressources de la CMI relativement aux répercussions des progrès réalisés dans le cadre de l'Accord relatif à la qualité de l'eau dans les Grands Lacs. Les problèmes jugés les plus saillants sont notamment :
  1. le développement durable
  2. la stabilité des niveaux de l'eau
  3. les effets des UV-B sur les biotes
  4. les différentes répercussions de **l'Accord de libre-échange nord-américain** (ALENA)
  5. les choix de vie en tant que facteur de l'intégrité des écosystèmes
  6. la fréquence de l'endométriose chez les femmes qui mangent des poissons des Grands Lacs.

2.9 BIBLIOGRAPHIE

ACES (Advisory Committee on Environmental Standards). 1994. A Standard for Tritium. A Recommendation to the Minister of the Environment and Energy, Toronto, Ontario. ACES Report 94-01. 102 pp.

Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). 1994. Great Lakes Human Health Effects Research Program. United States Department of Health and Human Services, Atlanta, Georgia. 60 pp.

Allen, T.F.H. and T.W. Hoekstra. 1992. Toward a Unified Ecology. Columbia UP, New York. 384 pp.

Allen, T.F.H., B.L. Bandurski, and A.W. King. 1993. The Ecosystem Approach: Theory and Ecosystem Integrity. International Joint Commission, Report to the Science Advisory Board, Windsor, Ontario. 67 pp.

Ashford, N.A., C.S. Miller. 1991. Chemical Exposures: Low Levels and High Stakes. Van Nostrand, New York. 214 pp.

Auger, Jacques, Jean Marie Kunstmann, François Czyglik, and Pierre Jouannet. 1995. Decline in Semen Quality Among Fertile Men in Paris During the Past 20 Years. New England Journal of Medicine. Volume 332, Number 5, pp. 281-285.

Bandurski, B.L. 1994. Learning Panes, in Environmental Law Institute (ed.) National Environmental Policy Act, Ecosystem Assessment and Environmental Impact Assessment. ALI-ABA, Washington, DC.

Bateson, G. 1977. Vers une écologie de l'esprit. Editions du Seuil, Paris.

Bellar, T.A., J.J. Lichtinberg, R.C. Kroner. 1974. The Occurrence of Organohalides in Chlorinated Drinking Waters. Journal AWWA 66:703-6.

Black, J.S., P.C. Stern, J.T. Elsworth. 1985. Personal and Contextual Influences on Household Energy Adaptations. Journal of Applied Psychology 70:3-21.

Bolin, B., B. Döös, J. Jäger and R. Warrick. 1986. The Greenhouse Effect, Climate Change and Ecosystems. John Wiley and Sons, Chichester, England. 541 pp.

Bolin, Bert 1994. Science and Technology. Ambio, Vol. XXII, No. 1, February 1994 ISSN 0044-7447. pp. 25-29.

Bromwich, P., J. Cohen, I. Stewart and A. Walker. 1994. Decline in Sperm Counts: An Artefact of Change Reference Range of Normal? Br. Med. J. 309:19-22.

Brown, R.H. 1989. Clefs pour une poétique de la sociologie : essai. Actes Sud, Arles, France. pp. 351.

Bruce, J., personal communication. WGIII Evaluation of 1592 Emission Scenarios. January 4, 1995.

Bruce, James P. 1994. Deuxième rapport d'évaluation du Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat. Delta: Bulletin du Programme canadien des changements à l'échelle du globe, Vol. 5, No. 2, été 1994, p. 7.

Burnett, R, R.E. Dales, M.E. Raizenne, D. Krewski, P.W. Summers, G.R. Roberts, T. Raad-Young, T. Dann, J. Brook. 1994. Effects of Low Ambient Levels of Ozone and Sulphates on the Frequency of Respiratory Admissions to Ontario Hospitals. Environmental Research 65:172-194.

Callicott, J.B. 1992. Aldo Leopold's Metaphor. In: Ecosystem Health, R Costanza et al. (eds.). Island Press, Washington, DC. pp. 42-56.

Campbell, M. 1993. Outdoor Air Quality in Toronto: Issues and Concerns. Toronto: City of Toronto Department of Public Health, Toronto, Ontario. 172 pp, plus appendices.

Association canadienne de santé publique (ACSP). 1992. Santé humaine et de l'écosystème : perspectives canadiennes, action canadienne, ACPS, Ottawa, Ontario. 31 pp.

Carey, P.M. 1987. Air Toxics Emissions from Motor Vehicles. A Technical Report prepared for the Office of Mobile Sources, Office of Air Radiation, U.S. Environmental Protection Agency, Ann Arbor, Michigan.

Carlsen, E., A. Giwercman, N. Keiding and N.E. Skakkebaek. 1992. Evidence for Decreasing Quality of Semen During Past 50 years, Br Med J 305:609-13.

PCCEG (Programme canadien des changements à l'échelle du globe). 1992. Prospectus. Glen Sutter (ed.) Société royale du Canada, Ottawa, Ontario. ISBN 0-92-920064-43-4. 20 pp.

Chahine, Moustafa T. 1992. The Hydrological Cycle and Its Influence on Climate. Nature, Vol. 359, October 1, 1992.

Clarke, E.A., J. McLaughlin and T.W. Anderson. 1991. Childhood Leukemia Around Canadian Nuclear Facilities, Phase II. Final report to the Atomic Energy Board, Ottawa, Ontario.

Clements, Frederic E. 1905. *Research Methods in Ecology.* Lincoln, Nebraska.

Climate Groups Rejects Criticism of Warnings. Nature, Vol. 371, September 22, 1994. p. 274 .

Colborn, Theo and Coralie Clement (eds.). 1992. Chemically-Induced Alterations in Sexual and Functional Development: The Wildlife/Human Connection. Advances in Modern Environmental Toxicology. Princeton Scientific Publishing, Princeton, New Jersey. 403 pp.

Colborn, T. F.S. vomSaal and A.M. Soto. 1993. Developmental effects of Endocrine-Disrupting Chemicals in Wildlife and Humans. Environ. Health Perspectives. 101:378-384.

Commoner, B., and M. Cohen. 1995. Quantitative Estimation of the Entry of Dioxins, Furans, and Hexachlorobenzene into the Great Lakes from Airborne and Waterborne Sources. Center for the Biology of Natural Systems, Queens College, Flushing, New York. 86 pp. plus appendices.

Costanza, R., H.E. Daly, J.A. Bartholomew. 1991. Goals, Agenda and Policy Recommendations for Ecological Economics. In: R. Costanza R op. cit. pp. 1-20.

Cotgrove, S. 1982. Catastrophe or Cornucopia. Wiley, New York. pp. 154.

Daly, H.E. 1991. Elements of Environmental Macroeconomics. In: R Constanza et al. R op. cit.

Davies, K. 1988. Concentrations and Dietary Intakes of Organochlorines, Including PCBs, PCDDs and PCDFs in Fresh Food Composites Grown in Ontario, Canada. Chemosphere 17(2):263:276.

Devall, B. and G. Sessions. 1985. Deep Ecology. Gibbs Smith, Salt Lake City, Utah. pp. 266.

Dockery, D.W., C.A. Pope. 1994. Acute Respiratory Effects of Particulate Air Pollution. Annual Rev Public Health 15:107-132.

Dubos, René. 1961. Mirage de la santé. Denoel, Paris. 234 pp.

Ebert E.S., P.S. Price, R.E. Keenan. 1994. Selection of Fish Consumption Estimates for Use in the Regualtory Process. J Exposure Analysis and Environmental Epidemiology 4:373-393.

Edelstein, M.R. 1988. Contaminated Communities, Westview Press, Boulder, Colorado. pp. 217.

Ehrenfeld, D. 1992. Ecosystem Health and Ecological Theories. In: Ecosystem Health, R Costanza et al.(eds.) Island Press, Washington, DC.

Environnement Canada, Ministère des pêches et des océans, Santé et bien-être social Canada. 1991. Les produits chimiques toxiques dans les Grands Lacs et leurs effets connexes. Volumes I et II. Ottawa. Ministère des Approvisionnements et Services Canada, Ottawa, Ontario. 823 p.

Eyles, J. 1985. Senses of Place. Silverbrook Press, Warrington, Silverbrook. 162 pp.

Eyles, J. and D. Cole. 1995 (unpublished). Human Health in Ecosystem Health: Issues and Meaning and Measurement. Monograph prepared for the Science Advisory Board, International Joint Commission, Windsor, Ontario. 145 pp.

Eyles, J. 1990. Objectifying the Subjective. Social Indicators Research. 22:139-53.

Eyles, J., S.M. Taylor, J. Baxter, D. Sider and D. Willms. 1993. The Social Construction of Risk in a Rural Community. Risk Analysis 13:281-90.

Farland, William. 1993. Environmental Risk Characterization: In: Risk Assessment, Communication and Management in the Great Lakes Basin, Michael Gilbertson (ed.). Proceedings of a Workshop, February 1-2, 1993, St. Catharines, Ontario. Great Lakes Water Quality Board Report to the International Joint Commission, Windsor, Ontario. ISBN 1-895085-59-4. 43 pp.

Faust, D. 1985. Declarations Versus Investigations: The Case for the Special Reasoning Abilities and Capabilities of the Expert Witness in Psychology/Psychiatry. Journal of Psychiatry and Law (Spring-Summer):33-59.

Fein, G. et al. 1984. Prenatal Exposure to Polychlorinated Biphenyls: Effects on Birth Size and Gestational Age. Journal of Pediatrics 105:315-20.

Fine, G.A. and K. Sandstrom. 1993. Ideology in Action. Sociological Theory 11:21-38.

Fiore, M.C., H.A. Anderson, R. Hong, R. Golumbjatnikov, J.E. Seiser, D. Nordstrom, L. Hanrahan and D. Belluck. 1986. Chronic Exposure to Aldicarb-Contaminated Groundwater and Human Immune Function. Environmental Research 41:633-645.

Fischhoff, B., S. Lichtenstein, P. Slovic, S.L. Derby and R.L. Keeney. 1981. Acceptable Risk. Cambridge University Press, Cambridge, U.K.

Fleisher, J.M., F. Jones, D. Kay, R. Stanwell-Smith, M. Wyer and R. Morano. 1993. Water and Non-water Related Risk Factors of Gastroenteritis Among Bathers Exposed to Sewage-Contaminated Marine Waters. Int J Epidem 22:698-708.

Foran, J.A., M. Cox and D. Croxton. 1989. Sport Fish Consumption Advisories and Projected Cancer Risks in the Great Lakes Basin. Am J Public Health 79(3):322-325.

Frank, J., B. Gibson, M. Macpherson. 1988. Information Needs in Epidemiology. In: Information Needs for Risk Management C. Fowle et al.(eds.). IES, Toronto, Ontario. pp 129-144.

Friberg, L. 1984. Cadmium and the Kidney. Environmental Health Perspectives 54:1-12.

Geertz, C. 1963. Agricultural Involution. Univ. California Press, Berkeley, California. pp. 231.

Gieryn, T. 1983. Boundary-Work and the Separation of Science from Non-Science. American Sociological Review 48:781-95.

Gilman A.P., Y. Mao, R. Burnett, R. Semenciw. 1992. Couplage de bases de données administratives se rapportant à l'incidence du cancer et aux contaminants de l'environnement dans le bassin des Grands Lacs. Maladies chroniques au Canada 13(6 Suppl): S16-23.

Goudie, A. 1994. The Human Impact on the Natural Environment. MIT Press, Cambridge, Masssachusetts, 4th ed. 454 pp.

Gouvernements des Etats-Unis et du Canada. 1978. *Accord relatif à la qualité de l'eau dans les Grands lacs,* Ottawa, Ontario et Washington, DC. 64 p.

Gouvernement du Canada et la Province de l'Ontario. 1994. *Accord Canada-Ontario concernant l'écosystème du bassin des Grands Lacs.* 12 p.

Guo, Yueliang L., George H. Lambert and Chen-Chin Hsu, in press. Growth Abnormalities in the Population Exposed to PCBs and Dibenzofurans.

Hardin, G. 1968. The Tragedy of the Commons. Science 162:1243-8.

Haskell, B.D., B.G. Norton and R. Costanza. 1992. What is Ecosystem Health and Why Should We Worry About It? In: Ecosystem Health, R. Costanza et al. (eds.) Island Press, Washington, DC. pp. 3-22.

Heberlein, T.A. 1972. The Land Ethic Realized. Journal of Social Issues 28:79-87.

Hengeveld, Henry. 1994. La modélisation du système climatique planétaire. Delta: Bulletin du Programme canadien des changements à l'échelle du globe. Vol. 5, No. 2, été 1994, p. 14.

Hertzman, C., M. Hayes, J. Singer and J. Highland. 1987. The Upper Ottawa Landfill Site Health Study. Environmental Health Perspectives 75:173-95.

Higginson, J. 1992. The Epidemiological Approach to the Causes of Human Cancer and the Implications for Cancer Control Policy. In: Development of Environmental Health Status Indicators, S McColl (ed.), Institute for Risk Research, Waterloo, Ontario.

Hill, Austin B. 1965. "The Environment and Disease Association or Causation." Proceedings of the Royal Society of Medicine. 58:295-330.

Hoyos, Carl Graf. 1987. Attitudes To and Acceptance of Uncertain Situations: The Viewpoint of Psychology. In: Society and Uncertainty. Verlay Versicherung-Wirtschaft, e.v. Munick, W. Germany. 239 pp.

Hunsaker, C.T. and D.E. Carpenter. 1990. Environmental Monitoring and Assessment Program. U.S. EPA, Research Triangle Park, North Carolina.

Ingram, J. 1994. Book review: The Burning House. "Using His Grey Matter," Windsor Star, December 3, 1994.

Commission mixte internationale. 1993. *Inventaire de la recherche sur les Grands Lacs et le Saint-Laurent, 1991/1992.* Conseil des gestionnaires de la recherche des Grands Lacs, Rapport à la Commission mixte internationale, Windsor, Ontario. ISBN 1-895085-73-X. 158 p.

International Joint Commission. 1978. *The Ecosystem Approach.* International Joint Commission, Windsor, Ontario. 47 pp.

Commission mixte internationale. 1991. *Un cadre proposé pour la formulation d'indicateurs de l'intégrité de l'écosystème pour la région des Grands Lacs.* Commission mixte internationale, Windsor, Ontario. 183 p.

International Joint Commission. 1994. *Our Community, Our Health: Dialogue Between Health and Science.* Proceedings of A Workshop, held September 14-15, 1992, Ann Arbor, Michigan. ISBN 1-895085-79-9. 58 pp.

Commission mixte internationale. 1994. *Septième rapport biennal sur la qualité de l'eau dans les Grands Lacs.* Commission mixte internationale, Windsor, Ontario. 58 p.

International Joint Commission. 1994. *Bioindicators as a Measure of Success for Virtual Elimination of Persistent Toxic Substances.* A Report Based on a Workshop held April 28-29, 1992 at the Michigan League, Ann Arbor, Michigan. G.A. Fox (ed.) 37 pp.

International Joint Commission. 1993. *Applying Weight of Evidence: Issues and Practice.* A Report of a Workshop held October 24, 1993, Windsor, Ontario, Gilbertson, Michael and Sally Cole-Misch (eds.). International Joint Commission, Windsor, Ontario. 37 pp.

Commission mixte internationale. 1993. Une stratégie pour l'élimination virtuelle des substances toxiques rémanentes, Volumes 1 et 2. Washington, DC et Ottawa, Ontario. 72 et 112 p.

International Joint Commission. 1993. *Risk Assessment, Communication and Management in the Great Lakes Basin,* Michael Gilbertson (ed.). Proceedings of a Workshop, February 1-2, 1993, St. Catharines, Ontario. Great Lakes Water Quality Board Report to the International Joint Commission, Windsor, Ontario. ISBN 1-895085-59-4. 43 pp.

Commission mixte internationale. 1992. *Sixième rapport biennal sur la qualité de l'eau dans les Grands Lacs.* Ottawa, Ontario et Washington, DC. 60 p.

UICN/PNUE/WWF. 1991. Sauver la planète, stratégie pour l'avenir de la vie. David A. Munro et Martin W. Holdgate (eds.). Anglais ISBN 2-8317-0074-4; Français ISBN 2-8317-0075-2; Espagnol ISBN 2-8317-0076-0; Earthscan edition 1-85383-126-3. 200 p.

Jacobson, J. and S.W. Jacobson. 1988. New Methodologies for Assess-ing the Effects of Prenatal Toxic Exposure on Cognitive Func-tioning in Humans. In: Toxic Contaminants and Ecosystem Health, M.S. Evans (ed.). John Wiley, New York. pp 373-387.

Jacobson, J., S. Jacobson, P. Schwartz, G. Fein, J. Dowler. 1984. Prenatal Exposure to an Environmental Toxin. Developmental Psychology 20:523-32.

Johnson, K., J. Rouleau., C. Stewart. 1992. Répartition géographique des malformations congénitales en Ontario : 1978-1988. LLCM, Santé Canada. 21 p. et cartes.

Juskevich, Judith C. and C. Greg Guyer. 1990. Bovine Growth Hormone: Human Food Safety Evaluation. Science. Volume 249, pp. 875-884.

Kay, J.J. 1991. A Nonequilibrium Thermodynamic Framework for Discussing Ecosystem Integrity. Environmental Management 15:483-95.

Kay, J.J. 1993. On The Nature of Ecological Integrity. In: Ecological Integrity and the Management of Ecosystems, S Woodley et al. (eds.). St. Lucie Press, Delray Beach, Florida. pp. 201-212.

Kearney, J. and D.C. Cole. 1995. Personal Communication.

Kelly, J.R. and M.A. Harwell. 1990. Indication of Ecosystem Recovery. Environmental Management 14:527-45.

Kluckhohn, F.R. 1953. Dominant and Variant Value Orientations. In: Personality in Nature. C. Kluckhohn et al. (eds.) Society and Culture. Knopf, New York. pp. 142-157.

Koopman-Esseboom, Corine, Dennis C. Morse, Nynke Weisglas-Kuperus, J. LutkeSchiphoh, Cornelis G. Van der Paauw, Louis G.M. Th. Tuinstra, Abraham Brower, Pieter J.J. Sauer. 1994. Effects of Dioxins and Polychlorinated Biphenyls on Thyroid Hormone Status of Pregrant Women and Their Infants. Pediatric Research. 36(4):468-473.

Koshida, G., B. Mills, L. Mortsch, and D. McGillivray. 1993. Climate Sensitivity, Variability and Adaptation issues in the Great Lakes - St. Lawrence Basin: A Reference Document, Climate Adaptation Bulletin 93-06, Atmospheric Environment Service, Downsview, Ontario. 5,920 pp.

Kreiger, Norman, Mary S. Wolff, Robert A. Kiatt, Marilyn Rivera, Joseph Vogelman and Norman Orentreich. 1994. Breast Cancer and Serum Organochlorines: A Prospective Study Among White, Black and Asian women. J. Natl. Cancer Inst. 86:589.

L'Association de climatologie du Québec (ACLIQ). 1993. Le Climat. Numéro spécial New York. Adaptation aux contraintes climatiques des aspects socio-économiques et environnementaux du bassin du Saint-Laurent. New York. Vol. II, Mai 1993, 100 p.

Langlois, P., L. Smith, S. Fleming, R. Gould V. Goel and B. Gibson. 1995 (in press). Blood Levels in Toronto Children and Abatement of Lead-Contaminated Soil and Housedust. Arch. Environ. Health.

Last, J.M. 1993. Global Change: Ozone Depletion, Greenhouse Warming, and Public Health. Ann Rev Publ Health 14:115-136.

Loucks, Orie L. 1971. The Trial of DDT in Wisconsin. Chapter 7 In: Patient Earth. John Harte and Socolow, Robert (eds.) Holt, Rinehart and Winston, Inc. New York. pp. 88-111.

Lubin, J.H. 1994. Invited Commentary: Lung Cancer and Exposure to Residential Radon. Am J Epidem140:323-32.

MacKenzie, W.R., N.J. Hoxie, M.E. Proctor, M.S. Gradis, K.A. Blair, D.E., Peterson, J.J. Kasmierczak, D.G Addis, K.R. Fox, J.B. Rose, J.P. Davi. 1994. A Massive Outbreak in Milwaukee of Cryptosporidium Infection Transmitted Through the Public Water Supply. N Engl J Med Jul 21. 331(3):161-7.

Magnuson, John J., Carl J. Bowser, Raymond A. Assel and Bart T. DeStasio, John R. Eaton, Everett J. Fee, Peter J. Dillon, Linda D. Mortsch, Nigel T. Roulet, Frank H. Quinn, David W. Schindler. 1995. Laurentian Great Lakes and Precambrian Shield. Working Group 1. In: Symposium Report: Regional Assessment of Freshwater Ecosystems and Climate Change in North America. D. McKnight (ed.) ALSO and NABS.

McCormick, M. Patrick, Larry W. Thomason and Charles R. Trepte. 1995. Atmospheric Effects of the Mt. Pinatubo Eruption. *Nature*, Review Article. Volume 373, 02 February, 1995. pp. 399-404.

McKay, D. et S. Patterson. 1992. Etude et analyse critique de modèles pour l'évaluation de l'exposition des humains aux substances chimiques. Un rapport à la Direction de l'hygiène du milieu, Direction générale de la protection de la santé, Santé et bien-être social Canada. Ministre des Approvisionnements et Services Canada, Ottawa, Ontario. 63 p.

Miller, A.B. 1992. Planification des stratégies de lutte contre le cancer. Maladies chroniques au Canada. 13(1Suppl):S1-41.

Mills, C. et R. Semenciw. 1992. Répartition géographique de l'incidence de cancer dans le bassin des Grands Lacs, Ontario : 1984-1988. Santé Canada, Laboratoire de lutte contre la maladie, Bureau de l'épidémiologie des maladies chroniques, Ottawa, Ontario. 46 p.

Mitchell, M.F., E. Vavasour, P.B. Currie and J.R. Roberts. 1987. Quantitative Estimation of the Risk to Humans Resulting from Exposure to Chemicals. Monograph VI. In: Strengths and Limitation of Benefit-Cost analyses Applied to the Assessment of Industrial Organic Chemicals, Including Pesticides. Associate Committee on Scientific Criteria for Environmental Quality. Natural Research Council of Canada, Ottawa, Ontario. 90 pp.

Ministère de l'Environnement et de l'Énergie (MEEO). 1994. Direction des sciences et de la technologie 1994. L'étude sur la qualité de l'air de Windsor : Rapport sommaire. Imprimeur de la Reine pour l'Ontario, Toronto, Ontario. 48 p.

Moorehead, W.P., R. Guasparini, C.A. Donovan, R.G. Mathias, R. Cottle and G. Bayhalen. 1990. Giardiasis Outbreak from a Chlorinated Water Supply, Canadian Journal of Public Health. 81:358-62.

Morgan, M. Granger and Max Henrion. 1990. Uncertainty – A Guide to Dealing with Uncertainty in Quanitative Risk and Policy Analysis. Cambridge University Press, Cambridge, U.K. 332 pp.

Morris, R.D., A. Audet, I.F. Angelillo, T.C. Chalmers, F. Mosteller. 1992. Chlorination, Chlorination By-Products and Cancer, American Journal of Public Health. 82:955-63.

Mortsch, L. 1994. Le Projet du bassin des Grands Lacs et du Saint-Laurent (BGSLS) : une introduction. Dans : Le Projet du bassin des Grands Lacs et du Saint-Laurent, 1994. En quoi consiste le Projet du bassin des Grands Lacs et du Saint-Laurent?, vol. 1, hiver 1994. 5 p.

Mortsch, L., G. Koshida, and D. Tavares (resp. de publication). 1993. Le Projet du bassin des Grands Lacs et du Saint-Laurent : New York. L'adaptation aux répercussions du changement et de la variabilité climatiques. Actes de l'atelier du Projet du bassin des Grands Lacs et du Saint-Laurent tenu du 9 au 11 février 1993 à la Ville de Québec, Québec. Service de l'environnement atmosphérique, Downsview. 88 p.

National Research Council/National Academy of Sciences. 1993. Issues in Risk Assessment. National Academy Press, Washington, DC

Needleman, H.L. and D. Bellinger. 1991. The Health Effects of Low Level Exposure to Lead. Ann Rev Public Health. 12:111-140.

Nieboer, E., B.L. Gibson, A. Oxman. 1993. Health Effects of Aluminum: A Critical Review with Emphasis on Aluminum in Drinking Water. Institute of Environment and Health and Public Health Branch of Ontario Ministry of Health, Toronto, Ontario. pp. 110.

O'Neill, R.V., D.L. DeAngeles, J.B. Waide and T.F.H. Allen. 1986. A Hierarchial Concept of Ecosystems. Princeton UP, Princeton, New Jersey. 287 pp.

Olsen, Geary W., Charles E. Ross, Kenneth M. Bodner, Larry I. Lipshultz, Jonathan M. Ramlow. 1995. Have sperm counts been reduced 50 percent in 50 years? A statististical model revisited. Fertility and Sterility, American Society for Reproductive Medicine, Vol. 68, No. 4, pp. 887.

Olson, M. 1965. The Logic of Collective Action. Harvard UP, Cambridge, Massachusetts. 176 pp.

Groupe d'étude ontarien sur la prévention primaire du cancer. 1995. Recommandations sur la prévention primaire du cancer, Ontario. Ministère de la Santé, Toronto, Ontario. 64 p.

Parsons, T. 1972. Definitions of Health and Illness in the Light of American Values and Social Structure. In: Patients, Physicians and Illness. E. Jaco and E. Gartley (eds.) Collier-Macmillan, London, England.

Public Health Coalition. 1992. Report Respecting the Health Effects of Ontario Hydro's Demand/Supply Plan. Environmental Assessment Board, Toronto, Ontario.

Rapport, D.J. 1992. Evaluating Ecosystem Health. Journal of Aquatic Ecosystem Health. 1:15-24.

Rapport, D.J. 1989. What Constitutes Ecosystem Health? Perspectives in Biology and Medicine. 33:120-32.

Regier, H. unpublished. Managing Uncertainty on the Way to Ecosystem Integrity, International Joint Commission Tripartite Meeting, Windsor, Ontario, October 22, 1993. 5 pp.

Regier, H. 1993. The Notion of Natural and Cultural Integrity. In: Ecological Integrity and the Management of Ecosystems. S. Woodley et al. (eds.). St. Lucie Press, Delray Beach, Florida. pp. 3-18.

Richardson, G.M. and D.J. Currie. 1993. Estimating Fish Consumption Rates for Ontario AmerIndians. J Exp Anal Environ Epi. 3(1):23-38.

Rind, D., C. Rosenzweig and R. Goldberg. 1992. Modelling the hydrological cycle in assessments of climate change. Nature, Vol. 358, 9 July 1992. pp. 119-122.

Ritter, L. 1994. Organochlorine Residues and Risk of Breast Cancer. Public Health and Epidemiology Report Ontario (PHERO). 5(8):176-183.

Ryan, C.B., F.H. Quinn, and M.J. Donahue, M.J. (eds.). 1994. Great Lakes Climate Change Project: Research Priorities for Assessing the Impacts of Climate Change in the Great Lakes Basin. National Oceanic and Atmospheric Administration, GLERL, Ann Arbor, Michigan. 159 pp.

Sadek, M. 1994 (unpublished). An Inventory of Canadian Federal and Ontario Provincial Toxics Reduction Programs and Related Activities. Consultant report prepared for the Workgroup on Parties Implementation, Science Advisory Board, International Joint Commission, Windsor, Ontario. 102 pp. plus appendices.

Sagoff, M. 1985. Fact and Value in Environmental Science. Environmental Ethics. 7:99-116.

Scheberle, D., M. Buttke and K. Boggiatto. 1994 (unpublished). Survey of U.S. and Great Lakes States Toxics Reduction Programs, Laws and Database Inventory. Consultant report prepared for the Workgroup on Parties Implementation, Science Advisory Board, International Joint Commission, Windsor, Ontario. 114 pp. plus appendices.

Schrader-Frechette, K.S. and E.D. McCoy. 1993. Method in Ecology. Cambridge UP, New York. 328 pp.

Schwartz, J. 1991. Particulate Air Pollution and Daily Mortality in Detroit. Environ Res. 56:204-213.

Seedhouse, D. 1986. Health. John Wiley, Chichester, England. 104 pp.

Sherins, Richard J. 1995. Are semen quality and male fertility changing? New England Journal of Medicine. Volume 332, Number 5, pp. 327-328.

Stephens, Graeme, L. 1994. Dirty Clouds and Global Cooling. Nature, Vol. 370, August 11, 1994. p. 420.

Stern, P.C., T. Dietz and L. Kalof. 1993. Value Orientations, Hender and Environmental Concern, Environment and Behaviour. 25:322-48.

Steward, J. 1955. Theory of Culture Change. Univ. Illinois Press, Urbana, Illinois. 244 pp.

Steward, J. 1978. Evolution and Ecology. Univ. Illinois Press, Urbana, Illinois.

Stoneman, Don. 1995. "Big herd operators question BST profit." Farm and Country Magazine. February 28, 1995. Vol. 59, No. 9, pp. 12.

Taylor, S.M., D. Streiner, J. Eyles and S.J. Elliott. 1993. Psychosocial Effects in Populations Exposed to Contaminants in the Great Lakes Basin. Report to Great Lakes Health Effects Program, Institute of Environment and Health, Hamilton, Ontario. 63 pp.

The Role of the Hydrological Cycle in Global Environmental Change. The Globe, Wiltshire, England. Issue 18, April 1994. 12 pp.

Todd, E.C. 1991. Intoxications alimentaires et maladies d'origine hydrique au Canada : sommaires annuels 1985 et 1986. Publications Polyscience Inc., Morin Heights, Québec.

Tomatis, L. (ed.). 1990. Cancer: Causes, Occurrence and Control. IARC Scientific publications No. 100. Centre international de recherche sur le Cancer, Lyon, France. 352 pp.

Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement, Déclaration de Rio. 1992.

U.S. Environmental Protection Agency. 1994. Estimating Exposure to Dioxin-Like Compounds, Vol. II: Properties, Sources, Occurrence and Background Exposures; external review draft; Office of Health and Environmental Assessment. Office of Research and Development, U.S. Government Printing Office, Washington, DC, June 1994. EPA 600/6-88/005Cb

U.S. National Academy of Science. 1983; update 1993 (risk assessment paradigm; section 2.3.2.2)

U.S. Environmental Protection Agency. 1994. Health Assessment Document for 2,3,7,8-Tetrachlorodiveno-p-Dioxin (TCDD) and Related Compounds, Vol. III; external review draft; Office of Health and Environmental Assessment. Office of Research and Development, U.S. Government Printing Office, Washington, DC. EPA 600/BP92-001C. 121 pp.

U.S. Environmental Protection Agency. 1994. Estimating Exposure to Dioxin-Like Compounds, Vol. I: Executive Summary; external review draft; Office of Health and Environmental Assessment. Office of Research and Development, U.S. Government Printing Office, Washington, DC. EPA 600/6-88/005Ca. 128 pp.

Nations Unies/Commission mondiale sur l'environnement et le développement. 1988. Notre avenir à tous. Les Editions du FLEUVE, Montréal, Québec. 454 p.

Vayda, A.P. and R. Rappaport. 1976. Ecology-Cultural and Noncultural, in P. Richardson and J. McEvay (eds.) Human ecology. Duxbury Press, North Scituate, England.

Walters, S.D. 1983. Effects of Interaction, Confounding and Observational Error on Attributable Risk Fraction. Am. J. Epid. 117(5):598-604.

Williamson, P. 1992. Global Change, Reducing Uncertainties, IGBP, Royal Swedish Academy of Sciences, Stockholm, Sweden.

WMO/UNEP. 1992. Climate Change 1992. The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment. J.T. Houghton, B.A. Callander and S.K. Varney (Eds.), Cambridge University Press.

WMO/UNEP. 1990. Climate Change. The IPCC Scientific Assessment. J.T. Houghton, G.J. Jenkins and J.J. Ephraums (eds.) Cambridge University Press. 365 pp.

Wolff, M.S., P.G. Toniolo, E.W. Lee, M. Rivera, N. Dubin. 1993. Blood Levels of Organochlorine Residues and Risk of Breast Cancer. J Natl Cancer Inst. 85:648-652.

Organisation mondiale de la santé (OMS). 1948. Texte de la constitution de l'Organisation mondiale de la santé. Actes officiels, Organisation mondiale de la santé, 2: 100-4.

World Health Organization (WHO)/ United Nations Environment Program (UNEP). 1991. Earthwatch, Global Environmental Monitoring System: WHO/UNEP Report on Water Quality. Progress in the implementation of the Mar del Plata Action Plan and a Strategy for the 1990s.

Worthington, E.B. 1983. The Ecological Century. Clarendon Press, Oxford, England. 206 pp.

Zimmerman, K.S. 1994. Human Geography at the 'New Ecology. Annals, Association of American Geographers. 84:108-25.

2.10 MEMBRES DU CONSEIL CONSULTATIF SCIENTIFIQUE (CCS) ET DU GROUPE DE TRAVAIL (GT)

M. Ed Addison, Ph. D. ②
Ministère des Richesses naturelles de l'Ontario
C.P. 5000, 10401, rue Dufferin
Maple (Ontario) L6A 1S9

M. Douglas Alley (③*Secrétaire du GT*)
Commission mixte internationale
100, avenue Ouellette, 8e étage
Windsor (Ontario) N9A 6T3

M. Anders Andren, Ph. D. ①③
Professeur, Programme de chimie des eaux
Université du Wisconsin
660 North Park Street
Madison (Wisconsin) 53706

M. Bruce Bandurski *(Liaison)*
Commission mixte internationale
Section des États-Unis
1250-23rd Street, N.W. Suite 100
Washington, D.C. 20440

Mme Rosalie Bertell, Ph. D. ①(②*Coprésidente de GT*)
Conseillère scientifique et en droits de la personne
710-264 ouest, Queens Quay
Toronto (Ontario) M5J 1B5

M. Peter Boyer (①④*Secrétaire du Conseil d'administration et du GT*)
Commission mixte internationale
100, avenue Ouellette, 8e étage
Windsor (Ontario) N9A 6T3

M. Stephen Brandt, Ph. D. ①③
Great Lakes Center for Environmental Research and Education
SUNY College at Buffalo
1300 Elmwood Avenue
Buffalo (État de New York) 14222

M. John Clark, Ph. D.(② *Secrétaire du GT*)
Commission mixte internationale
100, avenue Ouellette, 8e étage
Windsor (Ontario) N9A 6T3

M. Theo Colborn, Ph. D. ②
Fonds mondial pour la nature
1250 - 24th Street, N.W., Suite 6019
Washington, D.C. 20037

Mme Katsi Cook ②
(Sherrill E. Katsitsiakawa Cook Barriero)
Indigenous Permaculture Networking Center
First Environment Project Officer
226 Blackman Hill Road
Berkshire, New York 13736

M. Ralph Daley, Ph. D. (*ancien coprésident du CCS*)
Institut national de recherche sur les eaux
Environnement Canada
C.P. 5050, 867, route Lakeshore
Burlington (Ontario) L7R 4A6

M. Jack Day, Ph. D. ① (③ *coprésident du GT*)
College of Environmental Science
University of Wisconsin - Green Bat
2420 Nicolet Drive
Green Bay, Wisconsin 54311-7001

M. Michael Donahue, Ph. D. ①④*(coprésident du CCS)*
Great Lakes Commission
The Argus II Building
400 Fourth Street
Ann Arbor, Michigan 48103-4816

M. Glen Fox ②
Centre national de recherche faunique
Environnement Canada
100, boulevard Gamelin
Ottawa (Ontario) K1A 0E7

M. John Frank, Ph. D. ②
Directeur de la recherche
Ontario Workers Compensation Institute
250, rue Bloor est, bureau 705
Toronto (Ontario) M4W 1E6

Dr. Brian Louis Gibson, ①②
Programme d'hygiène professionnelle LAMP
185, 5e Rue
Etobicoke (Ontario) M8V 2Z5

M. Mark Goldberg, Ph. D. ②
GlobalTox International Consultants Inc.
C.P. 23007
Guelph (Ontario) N1H 8H9

M. Douglas Haffner ①③
Great Lakes Institute
Université de Windsor
304, Sunset
Windsor (Ontario) N9B 3A9

M. Ross Hall ②
P.O. Box 239
Mount Tabor Road
Danby, Vermont 05739

M^me^ Isobel Heathcote, Ph. D. ① (③*coprésidente du GT*)
Faculté de génie
Université de Guelph
Immeuble Thornborough, pièce 202
Guelph (Ontario) N1G 2W1

M^me^ Barbara Knuth, Ph. D. ①②
Université Cornell
Fernow Hall
Ithaca, New York 14853-3001

M. George Lambert, Ph. D. ① (②*président du GT*)
Division de la pédiatrie, de la pharmacologie et de la toxicologie
Département de pédiatrie
Environmental and Occupational Health Sciences Institute (EOHSI)
681 Frelinghuysen Road, Box 1179
Piscataway, New Jersey 08855-1179

M. Orie Loucks, Ph. D. ①②
Département de zoologie
Biological Sciences Building
Université de Miami
Oxford, Ohio 45056

M. John Magnuson, Ph. D. (④*président du GT*)①
Centre de limnologie
Université du Wisconsin
680 North Park Street
Madison, Wisconsin 53706

M. Alex McCorquodale, Ph. D. ③
Département de génie civil et de génie de l'environnement
Université de Windsor
Windsor (Ontario) N9B 3P4

M^me^ Suzanne McMaster, Ph. D. ①②
Health Effects Research Laboratory, MD-51-A
U.S. Environmental Protection Agency
Research Triangle Park, North Carolina 27711

M. Paul Muldoon ①③
L'Association canadienne du droit de l'environnement
517, rue College
Toronto (Ontario) M6G 4A2

M. Ian Rutherford, Ph. D. ①②
Environnement Canada
Place Vincent Massey
351, St-Joseph, 9^e^ étage
Hull (Québec) K1A 0H3

M. Milagros Simmons, Ph. D. ② ①
Département d'hygiène du milieu et de santé industrielle
Université du Michigan
2534 School of Public Health
109 Observatory Street
Ann Arbor, Michigan 48109-2029

M. Michel Slivitzky, Ph. D. ① (④ *président du GT*)
1440, Notre-Dame, C.P. 698
Saint-Raymond (Québec) G0A 4G0

M. Geoffrey Thornburn *(Liaison)*
Commission mixte internationale
100, rue Metcalfe, 18^e^ étage
Ottawa (Ontario) K1P 5M1

M. Jay Unwin ①③
National Council of the Paper Industry for Air and Stream Improvement (NCASI)
Central Lake States Regional Center
Western Michigan University
2041 McCracken Hall
Kalamazoo, Michigan 49008-3844

M. Tony Wagner ①③*(coprésident du CCS)*
Waterfront Regeneration Trust
207, Queen's Quay ouest, pièce 580
Toronto (Ontario) M5J 1A7

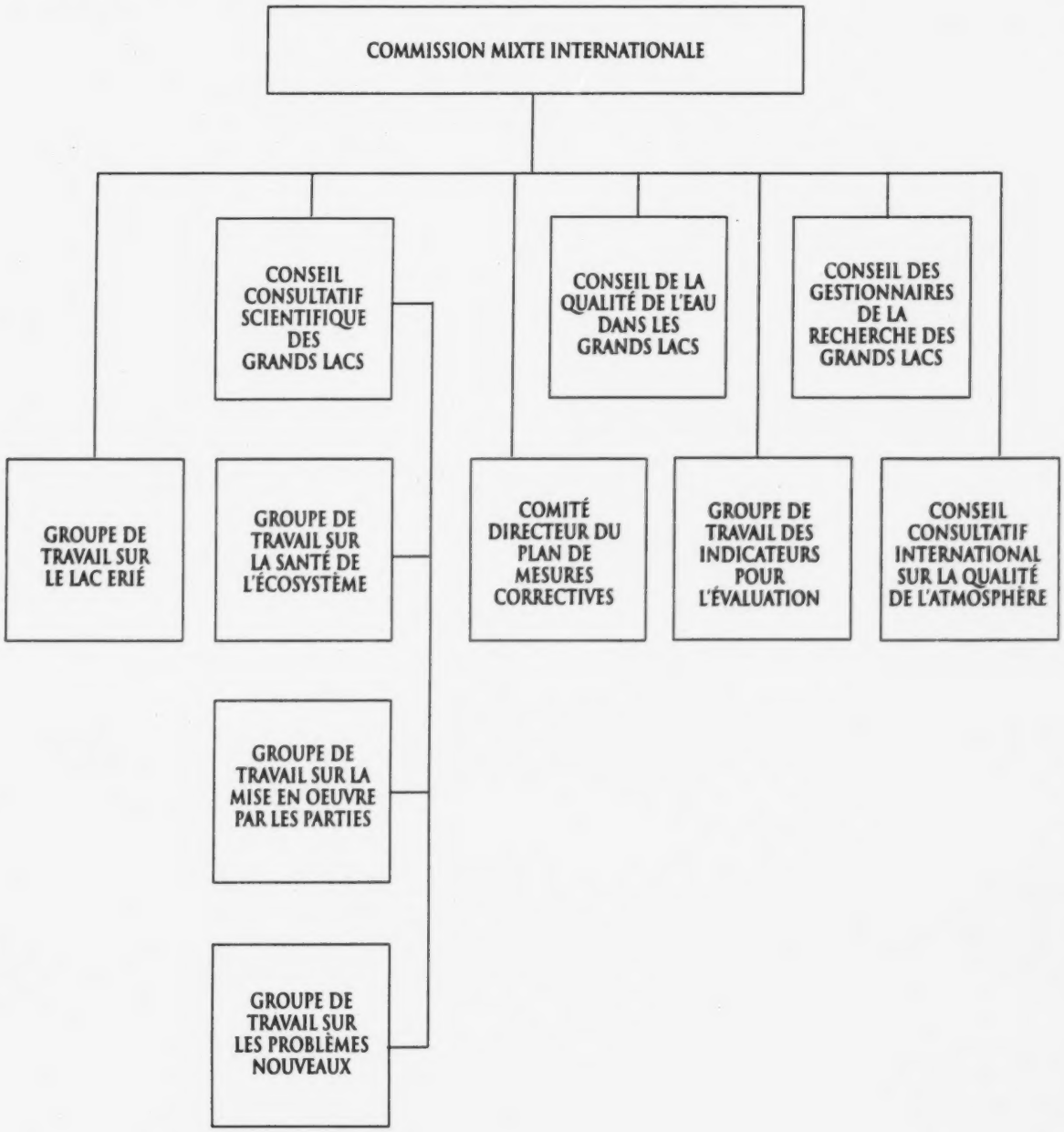
M. George Werezak, Ph. D. ①④
Sécurité et hygiène du milieu
Dow Chemical Canada Inc.
C.P. 1012, 1086, route Modeland
Sarnia (Ontario) N7T 7K7

M. Michael Zarull, Ph. D. ①
Institut national de recherche sur les eaux
Centre canadien des eaux intérieures
C.P. 5050, 867, route Lakeshore
Burlington (Ontario) L7R 4A6

Membres :
① Conseil consultatif scientifique
② Groupe de travail sur la santé de l'écosystème
③ Groupe de travail sur la mise en oeuvre par les Parties
④ Groupe de travail sur les problèmes nouveaux

2.11 INSTITUTIONS MIXTES ET AUTRES ENTITÉS CONSULTATIVES QUI RELÈVENT DE LA COMMISSION MIXTE INTERNATIONALE

ET ONT UN MANDAT GÉNÉRAL OU PARTICULIER EU ÉGARD À L'ACCORD RELATIF À LA QUALITÉ DE L'EAU DANS LES GRANDS LACS : PRIORITÉS DE 1993-1995



Chapitre Trois :

CONSEIL DES GESTIONNAIRES DE LA RECHERCHE DES GRANDS LACS

3.0 ACTIVITÉS DU CONSEIL DES GESTIONNAIRES DE LA RECHERCHE DES GRANDS LACS 140
Introduction 140

3.1 ÉVALUATION DES PROGRAMMES DE RECHERCHE 140
3.1.1 SANTÉ HUMAINE 140
États-Unis 140
Canada 141
3.1.2 EFFETS TOXIQUES SUR LES POISSONS ET D'AUTRES ESPÈCES FAUNIQUES 142
Effets des contaminants sur la reproduction des salmonidés : nouvelles données 142
Micro-contaminants dans les lampricides 143
Immunotoxicologie 144
Introduction 144
Substances chimiques immunotoxiques 145
Indicateurs 145
Autres indices 145
3.1.3 ÉTAT D'AVANCEMENT DE L'INVENTAIRE DE LA RECHERCHE 146
3.1.4 RECRUTEMENT, FORMATION ET PERFECTIONNEMENT DES SCIENTIFIQUES 146
Trois préoccupations pour les responsables de la recherche dans les Grands Lacs : recruter, remplacer et fidéliser les scientifiques 146
Situation aux États-Unis 147
Offre 147
Demande 149
Conclusions 149
Situation au Canada 149
Offre 149
Demande 149
Situation dans les laboratoires de recherche des Grands Lacs 150
Conclusions 150

3.2 EFFETS DES CHANGEMENTS SUR L'ÉCOSYSTÈME DU LAC ÉRIÉ 151
3.2.1 APPLICATION DU CADRE ÉCOSYSTÉMIQUE AUX MOULES ZÉBRÉES DANS LE LAC ÉRIÉ 151
Biologie/cycle de vie des espèces non indigènes 153
Mesures de contrôle et d'atténuation des effets des espèces non indigènes 153
Effets sur l'écosystème des espèces non indigènes 153
Prévention de l'introduction d'espèces non indigènes 153
Réduction de la dispersion et de l'aire de répartition des espèces non indigènes 154
Coûts et avantages socio-économiques de la recherche sur les espèces non indigènes 154
3.2.2 TERRES HUMIDES 155

3.3 ATELIER VISION 157
Communications et sensibilisation 157
Évolution des tendances 157
Questions organisationnelles 157
Évaluation des recherches 157
Développement durable 158
Conclusions 159

3.4 BIBLIOGRAPHIE 159

3.5 MEMBRES DU CONSEIL DES GESTIONNAIRES DE LA RECHERCHE DES GRANDS LACS 161

Liste des tableaux
1. Inscriptions aux programmes de doctorat en sciences et en génie dans quatre des plus importantes universités du bassin. (NSF, 1992) 147
2. Besoins des laboratoires de recherche canadiens des Grands Lacs en diplômés universitaires 150

Liste des figures
1. Directeurs de recherche menant des projets dans les Grands Lacs 148
2. Schéma du cadre écosystémique 152
3. Résultats obtenus au moyen du système de télédétection par satellite 156

Nous pouvons décider de nous fixer un but, un objectif. Nous pouvons, par exemple, essayer de mieux comprendre l'univers dans lequel nous vivons ainsi que le rôle que nous y jouons, indépendamment des théories que nous formulons ou des structures que nous mettons en place pour améliorer notre compréhension. Nous pouvons également décider d'adopter des normes et des méthodes qui nous aideront à atteindre notre objectif, car les théories ou les structures peuvent nous paraître trop contraignantes. Nous pouvons évidemment décider de nous fixer aucun objectif, de vivre selon nos propres convictions. Nous pouvons essayer d'atteindre un objectif uniquement s'il est en accord avec nos convictions. Nous pouvons assurément faire de tels choix, mais alors nous ne pourrons jamais savoir que nous nous trompons et nous nous priverons des bienfaits que procure l'esprit critique (qui nous a été transmis par les Grecs et se développe par le choc des cultures). C'est notre esprit critique qui nous permet de devenir ce que nous sommes et d'espérer que nous pourrons continuer de nous épanouir grâce aux connaissances que nous acquérons.

En d'autres mots, tout comme les langues, les structures peuvent constituer des barrières, peut-être même des prisons. Mais une structure qui nous est inconnue, tout comme une langue qui nous est étrangère, n'est pas une barrière infranchissable : nous pouvons la surmonter de la même manière que nous pouvons nous affranchir de la structure dans laquelle nous avons décidé d'évoluer et qui est notre propre prison. Certes, il est difficile de s'affranchir d'une structure, comme il est difficile de surmonter la barrière des langues, mais cette libération nous est bénéfique et les efforts que nous y consacrons peuvent élargir notre horizon intellectuel et nous procurer beaucoup de joie et de satisfaction. De telles libérations sont des découvertes personnelles, qui ont souvent mené et pourraient encore mener à des percées scientifiques.

— Karl R. Popper, The Myth of the Framework: In defence of science and rationality (1994)[1]

1 Traduction libre

3.0 ACTIVITÉS DU CONSEIL DES GESTIONNAIRES DE LA RECHERCHE DES GRANDS LACS

Introduction

Le **Conseil des gestionnaires de la recherche des Grands Lacs** a été créé pour appuyer le Conseil consultatif scientifique de la Commission mixte internationale dans la gestion, l'orientation et l'évaluation des programmes de recherche sur les Grands Lacs. Depuis 1991, il a le mandat supplémentaire d'inventorier les besoins en matière de recherche et d'assurer la coordination des projets. En plus de rendre compte de l'avancement de ses travaux, il a élargi son champ d'étude de sorte que ses recherches portent à présent sur l'écosystème des Grands Lacs et du Saint-Laurent. Pour tenir compte de cette nouvelle réalité, la composition du Conseil a été modifiée. Le gouvernement du Canada, le gouvernement des États-Unis, de même que le gouvernement de l'Ontario, les États et les établissements privés intéressés y sont représentés par des personnes responsables de la gestion et de la coordination des programmes de recherche.

3.1 ÉVALUATION DES PROGRAMMES DE RECHERCHE

Le Conseil des gestionnaires de la recherche des Grands Lacs a été créé en 1984 pour appuyer la Commission mixte internationale dans la gestion, l'orientation, le soutien et l'évaluation des programmes de recherche des Grands Lacs, notamment des programmes prévus ou subventionnés en vertu de l'**Accord relatif à la qualité de l'eau dans les Grands Lacs** (AQGL). Le Conseil des gestionnaires de la recherche des Grands Lacs est composé de responsables de programmes de recherche associés à la mise en oeuvre de l'Accord.

La Commission mixte internationale a demandé au Conseil des gestionnaires de la recherche des Grands Lacs d'évaluer les travaux effectués dans le bassin afin de déterminer s'ils se conformaient aux exigences de l'AQGL. Le Conseil a axé son évaluation sur les importantes découvertes concernant l'exposition des poissons et d'autres espèces fauniques ainsi que celle des humains aux substances toxiques rémanentes dans les Grands Lacs. Il a pu notamment constater que des progrès notables avaient été accomplis au chapitre du financement et de la coordination des recherches, surtout dans le domaine de la santé humaine.

3.1.1 Santé humaine

États-Unis

En 1990, le Congrès américain a modifié certaines dispositions de la *Federal Water Pollution Control Act* pour rendre celle-ci conforme à la *Great Lakes Critical Programs Act*. Certaines dispositions de cette Loi prévoyaient que l'**Environmental Protection Agency (EPA)**, l'**Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR)** et les États des Grands Lacs devaient soumettre un rapport au Congrès, au plus tard en septembre 1994. Ce rapport (ATSDR) qui est en préparation, devait comporter une évaluation des effets nuisibles de la pollution de l'eau sur la santé des personnes vivant dans les États des Grands Lacs. Le Congrès a autorisé un versement annuel jusqu'à concurrence de trois millions de dollars pour financer l'élaboration de ce document.

L'Agency for Toxic Substances and Disease Registry (1994) a reçu deux millions de dollars pour l'exercice financier de 1992 et trois millions de dollars en 1993 ainsi qu'en 1994 pour mener des recherches relatives aux incidences des polluants du bassin des Grands Lacs sur la santé humaine. Ces études se conforment à la mission de l'ATSDR, qui consiste à s'assurer que l'exposition aux substances dangereuses provenant de décharges ou de rejets accidentels et l'exposition à d'autres sources de pollution dans l'environnement n'ont pas d'effets nuisibles sur la santé et la qualité de vie des êtres humains.

Le Conseil des gestionnaires de la recherche des Grands Lacs appuie la Great Lakes Health Effects Research Strategy préparée

par l'ATSDR. Cette stratégie (DeRosa et Johnson, sous presse), qui vise à repérer les populations humaines du bassin des Grands Lacs qui sont plus susceptibles que d'autres d'être exposées aux substances chimiques contaminant un ou plusieurs des Grands Lacs ainsi qu'à prévenir tout effet nocif dû à cette exposition, repose sur les cinq critères habituellement utilisés pour la prévention des maladies :

- Détermination des profils de morbidité et de mortalité.
- Évaluation des facteurs responsables des profils observés.
- Contrôle des facteurs qui sont ou semblent responsables des profils observés.
- Diffusion des données recueillies sur la détermination, l'évaluation et le contrôle des profils observés.
- Mise en place d'une infrastructure pour faciliter la détermination, l'évaluation, le contrôle et la diffusion des éléments en matière de prévention des maladies. La Commission mixte internationale applique cette stratégie à l'étude des effets des contaminants sur la santé humaine et sur d'autres organismes dans le bassin des Grands Lacs.

Pendant l'exercice financier de 1992, l'ATSDR a subventionné huit études épidémiologiques ainsi qu'une neuvième étude dont l'objectif était de mettre au point des méthodes plus sensibles pour déceler la présence de substances toxiques rémanentes dans les tissus et les fluides corporels des humains. Au cours de l'exercice financier de 1993, il a octroyé une dixième subvention en vue de mettre en place un programme interlaboratoires pour le contrôle et l'assurance de la qualité des neufs premiers projets de recherche.

Deux grandes catégories de recherches ont été subventionnées : les études environnementales et les études épidémiologiques. Les études environnementales ont pour objet de déterminer les voies d'exposition aux matières polluantes dans le bassin en mettant l'accent sur la mise au point de méthodes qui permettent une évaluation plus rigoureuse du rapport entre ces voies d'exposition et les charges corporelles données de substances toxiques.

Quant aux études épidémiologiques, elles portent sur les voies d'exposition ainsi que sur les répercussions sur la santé des populations humaines vulnérables. Elles ont été amorcées pour compléter, dans la mesure du possible, les études de cohortes en cours et pour évaluer les risques de manifestations subtiles de toxicité qui suscitent de plus en plus de préoccupations dans le bassin, dont les effets neurocomportementaux et les effets sur le développement, sur la reproduction et sur l'immunotoxicité ainsi que les risques de transmission d'effets délétères d'une génération à l'autre. Ces derniers, qui comportent la transmission de déficits neurocomportementaux, constituent sans doute l'un des problèmes les plus complexes auxquels font face les chercheurs dans le domaine de la santé en raison de l'influence possible de l'exposition dans la lignée paternelle et maternelle.

Parmi les six cohortes étudiées grâce aux subventions versées jusqu'à ce jour, trois sont formées de pêcheurs sportifs des États du Michigan, de New York et du Wisconsin, deux d'Amérindiens et de membres des tribus Mohawk et Red Cliff et une autre de femmes qui allaitent, vivant dans l'État de New York.

Les subventions ont aussi permis d'amorcer deux nouvelles études de cohortes. La première porte sur des femmes afro-américaines de l'Illinois et vise à établir le lien entre les charges corporelles de contaminants des mères et les effets sur la santé de leurs enfants de moins d'un an, tandis que la deuxième porte sur des hommes et des femmes du Michigan en âge de procréer (18 à 34 ans). Une dernière subvention sert à améliorer les méthodes d'analyse, notamment celles qui permettent d'établir une distinction entre les BPC coplanaires de type dioxine et les BPC non coplanaires appartenant à cette grande classe de composés. L'ensemble des subventions permettra de déterminer les effets de l'exposition aux onze contaminants des Grands Lacs qui, selon la Commission mixte internationale, se rangent parmi les plus nocifs, notamment les HAP, les dérivés de l'alkylplomb, les BPC (dont 67 congénères) et les dioxines.

Les subventions servent également à étudier des populations vulnérables qui ont été ciblées en collaboration et en consultation avec le Board of Scientific Counsellors de l'ATSDR : les pêcheurs sportifs et amérindiens, les femmes enceintes, les femmes qui allaitent, les foetus et les enfants de moins d'un an, les citadins pauvres, les hommes et les femmes en âge de procréer et les personnes âgées.

Canada

Le **Programme relatif aux effets des Grands Lacs sur la santé humaine (PEGLSH)** (également intitulé : «Les Grands Lacs : Impact sur la santé») a été mis en oeuvre en 1989 par Santé Canada pour satisfaire aux dispositions concernant la santé du Protocole de 1987 de l'Accord canado-américain de 1978 relatif à la qualité de l'eau dans les Grands Lacs. Un budget de vingt millions de dollars a été affecté à la phase I (Santé Canada, 1994) de ce programme multidisciplinaire sur une période de cinq ans (1989-1994). Pendant la phase I, des recherches ont été menées et des mesures ont été prises en collaboration avec la population et les agglomérations canadiennes du bassin des Grands Lacs ainsi qu'avec des agences canadiennes et américaines afin de réduire les risques que comporte pour la santé humaine l'exposition aux substances polluant les Grands Lacs.

La mission du PEGLSH, qui consiste à protéger les êtres humains contre les effets de l'exposition aux contaminants dans le bassin des Grands Lacs, est assortie de trois grands **objectifs** :

- déterminer la nature, l'ampleur et la portée des effets pour la santé humaine de l'exposition à toutes les sources de contaminants chimiques, microbiologiques et radioactifs dans le bassin des Grands Lacs,

- élaborer et mettre en oeuvre des programmes visant à réduire ou à éliminer les risques que comporte pour la santé humaine la pollution dans le bassin des Grands Lacs,

- accroître les échanges de données et les consultations entre les agences et le public et fournir des renseignements utiles et à jour pour bien informer la population et pour s'assurer que des mesures appropriées sont prises afin de protéger la santé humaine et l'environnement.

Les travaux subventionnés par le PEGLSH et comportant les mesures des concentrations de substances chimiques organochlorées dans les tissus adipeux, le lait maternel et le sang des humains, ont confirmé que les habitants du bassin des Grands Lacs sont exposés à des substances chimiques toxiques rémanentes dans l'air, l'eau de boisson et les aliments. En outre, les recherches ont révélé que la nourriture constitue la voie d'exposition d'environ 80 à 90 % de ces personnes pour la

plupart des contaminants organochlorés rémanents et que ce pourcentage est peut-être encore plus élevé chez les gens qui consomment beaucoup de poissons et d'autres espèces fauniques des Grands Lacs dans lesquels ces substances s'accumulent facilement.

Les études épidémiologiques ont permis de cibler plusieurs sous-populations qui sont plus susceptibles que d'autres d'éprouver des problèmes de santé à cause de leur niveau d'exposition plus élevé ou de leur plus grande sensibilité. Outre les personnes qui consomment beaucoup de poissons et d'autres espèces fauniques contaminés provenant du bassin des Grands Lacs, les habitants des grandes villes et des villes à vocation industrielle, les personnes âgées, les personnes malades, les jeunes enfants, les femmes enceintes, les foetus, les enfants de moins d'un an dont les mères ont consommé des poissons contaminés des Grands Lacs forment des sous-populations plus susceptibles de présenter une aggravation des troubles respiratoires, une altération du système immunitaire, un retard du développement neurologique, des déséquilibres psychosociaux, des anomalies de la reproduction et peut-être d'autres troubles.

Les études qui ont été menées au cours de la phase I (1989-1994) du Programme relatif aux effets des Grands Lacs sur la santé humaine révèlent que l'exposition aux contaminants du bassin peut éventuellement avoir des incidences, entre autres, sur la reproduction, le développement et le système immunitaire des personnes, notamment celles appartenant aux groupes très vulnérables susmentionnés.

Les critères utilisés pour évaluer la santé ont aussi évolué. Les conséquences habituelles sur la santé comme le cancer et les malformations congénitales, qui sont bien documentées (Santé Canada, 1995), sont des indicateurs relativement peu sensibles des effets d'une exposition prolongée à de faibles concentrations de contaminants présents dans le milieu. L'orientation des recherches actuelles et futures permet de constater qu'on s'intéresse davantage aux effets potentiels plus subtils sur la santé de l'exposition chronique à de faibles concentrations de mélanges de substances chimiques, comme le révèlent les études portant sur le déséquilibre, la stimulation ou le mimétisme hormonal, le développement des organes génitaux, l'endométriose, la spermatopathie, les troubles subcliniques du système immunitaire, les troubles respiratoires, le neurocomportement et le développement des enfants ainsi que les déséquilibres psychosociaux. La perception qu'ont les gens de leur santé et les effets de cette perception sur les structures et le fonctionnement de la société sont des facteurs qui permettent d'évaluer l'état de santé des populations de façon aussi directe que les maladies diagnostiquées par des examens cliniques. Ces observations peuvent non seulement servir de base à d'autres études portant sur ces questions en constante évolution, mais elles sont également d'une grande valeur pour les recherches actuelles qui évaluent les conséquences sur la santé humaine de l'exposition aux contaminants dans le bassin des Grands Lacs.

3.1.2 Effets toxiques sur les poissons et d'autres espèces fauniques

Effets des contaminants sur la reproduction des salmonidés : nouvelles données

C'est dans le Supplément à l'annexe I portant sur l'élaboration d'objectifs spécifiques du Protocole de 1987 modifiant l'Accord de 1978 relatif à la qualité de l'eau dans les Grands Lacs que l'on mentionne pour la première que la gestion du bassin des Grands Lacs devrait se faire selon une approche écosystémique. Même si l'élaboration de ces objectifs se fait lentement, les Parties ont convenu de veiller à la préservation de deux espèces du lac Supérieur : le touladi et le petit crustacé *Pontoporeia hoyi*. Depuis que le Canada et les États-Unis ont accepté cette nouvelle approche, l'Accord ne vise plus exclusivement des polluants particuliers, mais s'étend à l'ensemble des facteurs physiques, chimiques et biologiques qui pourraient ou auraient pu avoir des effets néfastes sur les espèces de l'écosystème des Grands Lacs. Au cours des dix dernières années, les chercheurs ont fait d'importants progrès dans l'étude du rôle de divers facteurs qui pourraient ou auraient pu nuire à la situation du touladi non seulement dans le lac Supérieur, mais aussi dans les autres Grands Lacs.

Dans le bassin des Grands Lacs, le touladi était une espèce commerciale très prisée jusqu'au moment où les stocks ont commencé à diminuer vers 1940 pour finalement s'épuiser autour de 1960. Les populations indigènes de touladis ont disparu des lacs Ontario et Érié et, à l'heure actuelle, on doit ensemencer ces lacs et d'autres avec des touladis d'élevage pour maintenir les populations. La disparition des stocks de touladis indigènes dans la majeure partie des Grands Lacs a été attribuée à la prédation par la grande lamproie marine, à la surpêche, à l'eutrophisation des eaux et à la destruction des habitats. Au milieu des années 1950, la création de la Commission des pêcheries des Grands Lacs visait l'élaboration et la mise en oeuvre de mesures destinées à contrôler les populations de la grande lamproie marine. L'un des objectifs énoncés de cette Commission était la reconstitution de stocks stables de touladis dans les Grands Lacs, mais les efforts déployés ont été infructueux. Ces derniers temps, la Commission a réévalué la possibilité que des contaminants aient contribué à la disparition du touladi et a examiné notamment les effets que ces substances peuvent avoir sur les fonctions de reproduction du poisson. En conséquence, le rôle qu'auraient pu jouer les contaminants dans l'élimination des populations indigènes de touladis et dans l'échec du rétablissement de populations stables sont des questions prioritaires pour les personnes chargées d'informer la Commission mixte internationale des progrès de la recherche liée à l'Accord relatif à la qualité de l'eau dans les Grands Lacs.

Le touladi n'est pas la seule espèce à laquelle s'intéressent les halieutes qui étudient les effets possibles des polluants sur l'échec de reproduction. Au cours des 25 dernières années, la pêche sportive a connu un plein essor par suite de l'introduction dans les Grands Lacs de diverses espèces de saumons du Pacifique. Comme pour la plupart des stocks de touladis, la majorité des stocks de saumons du Pacifique ont été maintenus grâce à l'ensemencement des lacs en alevins provenant d'écloseries, car le recrutement d'individus à partir des salmonicultures des lacs est pratiquement nul. Ces dernières années, on a relevé une grave série d'échecs de reproduction du saumon du Pacifique dans les écloseries utilisant des géniteurs

des Grands Lacs. On a pu, dans une certaine mesure, remédier à cette situation en important des oeufs de la côte du Pacifique, mais de sévères restrictions ont été imposées à cause des risques d'introduction de nouvelles maladies dans les Grands Lacs. On soupçonne, par exemple, que des oeufs importés sont à l'origine de la maladie rénale bactérienne qui a décimé les stocks de saumons cohos dans le lac Michigan. C'est la raison pour laquelle les halieutes et les gestionnaires des écloseries recherchent impérieusement la cause de cet échec de reproduction qui se caractérise par un taux de mortalité très élevé pendant les premiers stades de vie afin d'y trouver une solution.

Le comité de la santé des poissons dans les Grands Lacs (Great Lakes Fish Health Committee) de la Commission des pêcheries des Grands Lacs a récemment organisé deux ateliers sur le phénomène du syndrome de la mortalité précoce (Hnath, 1994). L'une des premières difficultés auxquelles les participants ont été confrontés a été de caractériser le syndrome, car plus d'un syndrome pourrait exister. Les participants ont abouti à un consensus pour définir le syndrome de la façon suivante :

> «Une mortalité excessive (supérieure aux pertes prévues), qui n'est pas lié au milieu, aux techniques d'élevage ou à des maladies infectieuses, se produit depuis le stade de l'oeuf oeillé jusqu'au commencement de l'alimentation. Les principaux indicateurs sont des pertes d'oeufs oeillés supérieures à la normale, des pertes d'alevins au moment de l'éclosion et des pertes d'alevins depuis l'éclosion jusqu'au début de l'alimentation. Les symptômes cliniques peuvent comprendre l'hyperexcitabilité, l'anémie, les déplacements en spirale, la couleur foncée, la léthargie (les alevins reposent sur le fonds ou à la surface des lacs), l'émaciation, les difficultés à s'alimenter et les malformations.»

Cette définition n'est pas très spécifique, et aucune lésion particulière ne permet de diagnostiquer ce syndrome. De plus, les alevins qui en sont atteints peuvent présenter des symptômes associés à d'autres maladies, comme l'hydropisie (oedème) du sac vitellin, la coagulation du sac vitellin et la maladie du point blanc.

Deux groupes de chercheurs ont mis au point un traitement efficace du syndrome de la mortalité précoce chez les salmonidés. Comme les symptômes ressemblent à ceux qui sont associés à diverses carences vitaminiques, ils ont procédé à une série d'expériences au cours desquelles ils ont exposé des échantillons d'oeufs à des vitamines distinctes, dont la thyroxine, l'astaxanthine, la bêta-carotène et la thiamine, afin de déterminer si ces dernières pouvaient prévenir l'apparition des symptômes. Seule la vitamine B1, autre nom de la thiamine, s'est révélée efficace (Fisher *et al.*, en préparation). Les chercheurs ont aussi observé que l'exposition des oeufs à des solutions de l'hormone thyroxine semble empêcher l'apparition des symptômes. Ces résultats montrent que certaines voies du métabolisme des glucides et des lipides peuvent être touchées chez les embryons ou chez les alevins au cours de leur développement (Hnath, 1994). L'utilisation de ces résultats dans les écloseries permettra peut-être aux gestionnaires des pêches de reconstituer les stocks de salmonidés des Grands Lacs et, par le fait même, d'éviter l'effondrement de cette pêche sportive lucrative.

Les participants aux ateliers ont consacré beaucoup de temps au rapport qui pourrait exister entre les causes du syndrome et la carence en thiamine. De fait, ils ont examiné toutes les causes plausibles : gestion des stocks de géniteurs, facteurs génétiques, carences alimentaires et modifications de la chaîne trophique, micro-organismes pathogènes et substances contaminant le milieu. En se servant de critères épidémiologiques, établis au départ pour étudier l'origine des maladies chez les humains, le groupe a pu éliminer plusieurs causes possibles. Par exemple, les microbiologistes n'ont relevé aucun signe qu'un agent pathogène microbien intervenait dans le syndrome. De même, diverses séries d'observations n'ont révélé aucun lien spécifique entre le syndrome et les techniques de gestion des stocks de géniteurs ou des facteurs génétiques, même si certaines lignées d'organismes semblaient plus vulnérables. On en est ainsi arrivé à la conclusion que l'alimentation (modifications de la chaîne trophique des Grands Lacs ou carences vitaminiques) ou la contamination de l'environnement pourrait être à l'origine du syndrome.

Ces hypothèses se rapprochent étroitement des conclusions d'autres chercheurs qui, dans des écloseries suédoises, étudient un syndrome analogue, le «M74», chez les alevins de saumons atlantiques des fleuves se jetant dans la mer Baltique. Ces chercheurs (Norrgren, 1993) se demandent s'il existe un rapport entre ces facteurs et le taux élevé de mortalité chez les oeufs et les alevins et d'autres types d'échec de reproduction observés chez d'autres espèces de poissons de la mer Baltique et de la Mer du Nord. Par exemple, ils ont observé un important taux de mortalité chez les oeufs et les alevins de la morue de la mer Baltique et chez les alevins de la perche exposés aux effluents d'usines de pâtes et papiers, ainsi qu'une incidence élevée de cas de développement tardif des gonades entraînant la stérilité chez la beaudroie du golfe de Botnie. Un rapport inverse a été signalé entre le succès d'éclosion chez le merlan de la Mer du Nord et les substances chimiques organochlorées.

Les avis sont très partagés quant aux effets possibles des contaminants de l'environnement sur la reproduction des stocks de poissons sauvages ou féraux dans les Grands Lacs. Jusque récemment, les gestionnaires des pêches s'entendaient pour dire que ces polluants ne constituaient pas un facteur important. Toutefois, une série d'essais toxicologiques réalisés au cours des cinq dernières années a mené à une analyse rétrospective des risques qui a remis en cause ce consensus. Les oeufs de touladis se rangent parmi les organismes les plus sensibles aux expositions à la 2,3,7,8-tétrachlorodibenzo-*p*-dioxine. La mortalité des embryons augmente de façon marquée dans les oeufs présentant des concentrations excédant 50 parties par billion et, lorsque cette valeur passe à 100 parties par billion, le taux de mortalité est de 100% (Walker *et al*, 1991). On demande maintenant aux scientifiques de déterminer si le rejet de dioxines dans le lac Ontario a contribué à l'effondrement des stocks surexploités de touladis et si d'autres stocks et espèces d'autres zones ont aussi été touchés, et de trouver la cause de la carence en thiamine.

Micro-contaminants dans les lampricides

L'objectif principal de l'AQGL est d'en arriver à «éliminer les rejets de toutes les substances toxiques rémanentes» dans les Grands Lacs. L'une des propriétés de certaines de ces substances est d'activer les enzymes du foie qui sont responsables de la détoxification des substances chimiques. Cette activation de l'**oxygénase à fonction mixte (OFM)** dans les échantillons de

foie de poissons et d'autres organismes a beaucoup servi à déceler la présence de substances toxiques rémanentes, comme les **biphényles polychlorés** (BPC), les dibenzo-*p*-dioxines et les furanes, dans l'environnement des Grands Lacs.

Pendant les années 1980 et au début des années 1990, des halieutes ont mené une série d'études intensives afin d'identifier les substances qui activent l'OFM chez les poissons exposés aux effluents des usines de pâtes et papiers. Bon nombre des recherches ont été effectuées sur les lieux des usines situées sur les rives ou en bordure des affluents du lac Supérieur (Munkittrick *et al*, 1992, 1994 et Servos *et al*, 1994). Les halieutes ont relevé une importante activation de l'OFM dans les poissons des baies Whitefish et Batchawana, deux zones qui se trouvent à l'écart des usines de pâtes et papiers. Des recherches plus poussées pourraient permettre de déterminer que les lampricides étaient peut-être responsables de la forte activation de l'OFM.

On se sert de lampricides depuis plus de 30 ans pour réduire le nombre de lamproies au stade larvaire dans les cours d'eau d'alevinage. Du **3-trifluorométhyle-4-nitrophénol** (TFM) a été répandu dans la plupart de ces cours d'eau pendant trois années consécutives, à raison de 50 tonnes par an. L'autre lampricide employé est le 2',5-dichloro-4-nitrosalicylanilide, dont le nom commercial est le Bayer 73, qui peut être utilisé seul ou combiné au TFM.

En plaçant des meuniers noirs en cage dans les cours d'eau traités aux lampricides, les halieutes ont démontré que l'activation de l'OFM quintuplait après deux jours suivant l'exposition (Munkittrick *et al*, 1994). Ces résultats ont été reproduits en laboratoire avec le même lot de lampricides. Les formulations techniques de TFM ont provoqué cette activité biologique, ce qui n'était pas le cas avec les formulations de Bayer 73. À l'aide de la **chromatographie liquide à haute performance** (CLHP), les chimistes ont isolé le TFM des formulations de TFM et ont pu démontrer que ce composé n'activait pas l'OFM. On a donc conclu que l'activation était due à d'autres substances chimiques entrant dans la composition des formulations techniques (Servos *et al*, 1994).

Aucune concentration de polychlorodibenzo-*p*-dioxines, de polychlorodibenzofuranes ni d'hydrocarbures aromatiques polycycliques n'a pu être décelée à l'analyse de la formulation de TFM, ce qui révélait que les contaminants dans les lampricides ne se rangeaient pas parmi les substances qui, auparavant, étaient considérées comme la cause de l'activation de l'OFM dans les Grands Lacs.

D'importants progrès ont été réalisés en ce qui concerne l'isolement et l'identification de la substance ou des substances qui, dans les formulations de TFM, sont responsables de l'activation de l'OFM. Par fractionnement au moyen de cartouches à milieu solide, on a séparé le TFM de la formulation et on a démontré que l'activation de l'OFM était associée à deux fractions distinctes, ce qui a permis de conclure qu'au moins deux substances pouvaient être à l'origine de ce phénomène. Les principaux composants de ces fractions étaient des éthers diphényliques; cependant, une fois synthétisés, ces composés ne produisaient aucune activation de l'OFM chez les poissons. On a alors conclu que les composés produisant cette activation devaient être des composants mineurs de la formulation de TFM et qu'après leur application dans les affluents du lac Supérieur, leurs concentrations dans les eaux réceptrices de ce lac devaient être très faibles.

Un fractionnement plus poussé par CLHP et des analyses effectuées par chromatographie en phase gazeuse à haute performance/spectrométrie de masse ont permis l'identification préliminaire de plusieurs composés chimiques, y compris d'autres éthers diphényliques chlorés et la chlorotrifluorométhylnitro-*p*-dioxine. Le remplacement de la dibenzo-*p*-dioxine par des groupements de trifluorométhyle ou nitro ne modifie que légèrement - et pourrait même accroître - la toxicité comparativement à un dérivé de substitution polychloré de dibenzo-p-dioxine de même type. Il faudra mesurer la rémanence et la toxicité de ces substances et, tout particulièrement, déterminer si elles peuvent causer des troubles métaboliques comme une réduction des hormones stéroïdes circulantes chez les poissons.

Immunotoxicologie

Introduction

Depuis cinq ans, les scientifiques des Grands Lacs se penchent sur les effets subtils des substances chimiques sur la structure et les fonctions des organismes qui y sont exposés. Les toxicologues s'intéressent depuis longtemps aux quantités ou aux concentrations de substances chimiques directement à l'origine de l'augmentation du taux de mortalité. Ces derniers temps, ils ont concentré leurs travaux sur les effets plus subtils qui peuvent être décelés à de plus faibles concentrations de ces substances, particulièrement chez la progéniture (Colborn *et al*, 1993). On a acquis de nouvelles connaissances qui permettent de mieux comprendre comment ces effets subtils peuvent être dévastateurs pour les populations de poissons et d'autres espèces fauniques d'une grande valeur. Les effets sur le développement et le fonctionnement du système immunitaire en constituent un exemple et les toxicologues ont réalisé des progrès remarquables dans l'étude de ces phénomènes chez les poissons et les autres espèces fauniques des Grands Lacs.

Un système immunitaire fonctionnel est indispensable pour qu'un organisme puisse lutter contre les agents pathogènes et le cancer. Des organismes exposés à des substances chimiques immunotoxiques peuvent être plus susceptibles de contracter des maladies, car une telle exposition diminue leur immunocompétence et, par conséquent, leur résistance à la maladie. Les milieux aquatiques comme les Grands Lacs favorisent la survie et la propagation d'agents pathogènes qui contaminent les organismes aquatiques. Le bon fonctionnement du système immunitaire d'organismes aquatiques comme les poissons constamment exposés à ces agents est donc particulièrement important. Des changements subtils du système immunitaire, dus à l'exposition aux substances chimi-

ques, peuvent provoquer l'apparition de maladies au sein des populations d'organismes aquatiques (Anderson et Zeeman, 1995).

Le fonctionnement du système immunitaire est particulièrement susceptible d'être perturbé par des substances chimiques, car ses cellules ne cessent de croître et de se différencier tout au long du développement et du cycle vital des organismes. En outre, il est doté d'une «mémoire», de sorte que les expositions répétées et chroniques à de faibles concentrations de substances chimiques immunotoxiques peuvent davantage influer sur la survie et le fonctionnement des organismes qu'une unique exposition aiguë à des concentrations élevées de ces mêmes substances (Weeks *et al*, 1992).

Substances chimiques immunotoxiques

Les recherches ont démontré que de nombreuses substances chimiques présentes dans l'environnement affectent ou modulent le développement et le fonctionnement du système immunitaire, notamment chez les mammifères. Les principales classes de composés reconnues comme étant des immunorégulateurs sont les pesticides, les hydrocarbures aromatiques polycycliques, les composés organochlorés comme les biphényles polychlorés et les composés organométalliques comme le tributylétain (Dunier et Siwicki, 1993). Même si l'immunotoxicologie des poissons est une science encore relativement jeune, les chercheurs soupçonnent depuis un certain temps que l'exposition chronique à de faibles concentrations de pesticides et d'hydrocarbures aromatiques polycycliques rend les poissons susceptibles de contracter des maladies par immunosuppression.

Par exemple, plusieurs expériences ont permis de démontrer les effets immunorégulateurs des biphényles polychlorés chez les poissons. Au cours de l'une d'elles, on a administré de l'Aroclor 1232 par voie intrapéritoniale à des barbues de rivière (*Ictalurus punctatus*) qui avaient été immunisées avec une souche atténuée d'*Aeromonas hydrophila* (vaccin bactérien) (Jones *et al*, 1979). On a observé une réduction de l'activité des macrophages chez les poissons traités avec ce BPC et, après une nouvelle administration d'*Aeromonas hydrophila*, tous les spécimens exposés sont morts tandis que les témoins ont survécu. Ces résultats révèlent l'absence de réaction au vaccin bactérien et une réduction de la phagocytose chez les poissons exposés. L'expérience a donc démontré que l'Aroclor 1232 a une action immunosuppressive chez les poissons.

De même, plusieurs autres expériences faites avec des spécimens de poissons ont démontré que les organophosphates et les carbamates avaient des effets immonurégulateurs. L'exposition de touladis et de saumons cohos au malathion a provoqué une réduction du poids, de la taille et du nombre de lymphocytes de la rate (Zeeman et Brindley, 1981). L'exposition de carpes au trichlorfon s'est traduite par une immunosuppression (Siwicki *et al*, 1990) tandis que l'exposition au dichlorvos, un immunosuppresseur connu chez certains mammifères, n'a pas eu cet effet (Cossarini-Dunier *et al*, 1991). Des salmonidés exposés à des concentrations de 10,2 ppm de carbaryl pendant 100 jours présentaient une atrophie des organes lymphoïdes et une déplétion lymphocytaire. Des tambours crocas exposés à des concentrations beaucoup plus faibles de carbaryl (0,1 ppm) sont devenus beaucoup plus vulnérables au parasitisme par des protozoaires (Walsh et Ribelin, 1975).

Indicateurs

La détermination de l'activité des composants ou de la fonction cellulaire du système immunitaire fournit un indicateur très sensible de l'exposition aux contaminants dans l'environnement (Weeks *et al*, 1992). Par exemple, les substances chimiques immunotoxiques peuvent causer une suppression ou une activation du système immunitaire, influer sur la fabrication d'anticorps humoraux ou réduire la capacité des macrophages de phagocyter les microbes pathogènes. Les macrophages constituent la première ligne de défense contre les agents infectieux et représentent donc un composant particulièrement important du système immunitaire des poissons. De même, l'activation des leucocytes est essentielle au fonctionnement du système immunitaire. La mesure de l'activité des macrophages et celle des globules blancs sont des indicateurs sensibles des effets des substances chimiques dans les milieux aquatiques.

Par exemple, les poissons de la rivière Elizabeth située en Virginie, qui est fortement polluée par des hydrocarbures aromatiques polycycliques, présentent souvent des maladies et des néoplasmes, ce qui révèle fréquemment un dysfonctionnement du système immunitaire. On a mesuré l'activité des macrophages pour comparer l'immunocompétence des poissons capturés dans la rivière Elizabeth avec celle de poissons provenant de la rivière York qui est relativement peu polluée (Weeks *et al*, 1986). Chez trois espèces prélevées dans la rivière Élizabeth, on a observé une suppression marquée de l'activité des macrophages comparativement aux poissons de la rivière York. De même, chez les choquemorts (*Fundulus heteroclitus* L.) de la rivière Elizabeth, on a constaté une suppression de l'activité d'une sous-population de globules blancs (cellules cytotoxiques naturelles), importants pour la détection des tumeurs, par rapport aux poissons de la rivière York (Faisal *et al*, 1991). En conséquence, l'activité mesurée des macrophages et des cellules cytotoxiques naturelles était un indicateur sensible des effets des substances chimiques toxiques dans ce milieu aquatique.

Dans le cadre d'une autre étude, on a examiné les effets probables des poissons contaminés sur leurs prédateurs mammifères. Des souris ont été nourries avec du saumon coho (*Oncorrhynchus kisutch*) dans lequel s'étaient accumulés divers hydrocarbures aromatiques halogénés. Les souris avaient été immunisées avec des globules rouges de mouton afin de déterminer si cette exposition aux contaminants provoquait une immunosuppression. Bien qu'on n'ait observé aucun effet sur le nombre de lymphocytes, la réponse immunitaire a diminué proportionnellement à l'augmentation des concentrations de substances polluantes (Cleland *et al*, 1989).

Autres indices

Dans le passé, un lien a été établi entre de nombreux indicateurs non spécifiques de l'immunodépression et l'exposition aux substances chimiques contaminant les poissons (Dunier, 1994). Parmi les manifestations observées, mentionnons la réduction de la taille de la rate, du nombre de leucocytes et du pouvoir phagocitaire des macrophages. On a aussi relevé une diminution des protéines plasmatiques, ce qui peut être dû à une réduction du nombre d'anticorps circulants.

Des expériences avec des substances chimiques organochlorées offrent plusieurs exemples de ces manifestations.

L'immunocompétence de cyprins dorés exposés à du DDT a diminué, comme le révélaient une réduction des protéines plasmatiques et du poids de la rate ainsi qu'une immunosuppression chez les spécimens exposés à un antigène étranger, l'albumine bovine (Zeeman et Brindley, 1981). Au bout de 25 jours d'exposition à des concentrations de 0,35 ppm d'endosulfan, des spécimens de saumons présentaient une atrophie des organes lymphoïdes et une diminution du nombre de globules blancs (Zeeman et Brindley, 1981). Chez des barbues de rivière exposées à du mirex (21 ou 42 mg/kg/jour), le nombre de leucocytes et de thrombocytes avait diminué (Zeeman et Brindley, 1981). L'exposition à l'endrine a réduit la réponse lymphocytaire chez des spécimens de truites (Bennet et Wolke, 1987). On a observé une diminution marquée du nombre de leucocytes et des anticorps dirigés contre *Aeromonas hydrophila* chez des barbues exposées au lindane (1,3 mg/l) (Saxena *et al*, 1992).

Dans le bassin des Grands Lacs, les chercheurs n'ont pas encore relevé de preuve directe selon laquelle les BPC affectent le système immunitaire des saumons du Pacifique introduits. On a mis au point un système permettant d'étudier *in vitro* les premières étapes de l'activation des lymphocytes de la rate des saumons quinnats lorsqu'il y a stimulation par des composés chimiques qui déclenchent la mitose (Noguchi *et al*, 1995). On a eu recours à la cytométrie de flux pour repérer les lymphocytes de la bourse et du thymus afin d'étudier la vulnérabilité de ces cellules à des congénères spécifiques des BPC. Cette technique aidera à déterminer si les BPC contaminant les eaux des Grands Lacs contribuent à rendre les saumons du Pacifique plus sensibles aux maladies par leurs effets sur l'état de leur système immunitaire.

On a entrepris des recherches sur l'état du système immunitaire des oiseaux sauvages piscivores exposés aux contaminants de l'environnement (Grasman, 1995). À divers endroits, les adultes et les oisillons de goélands argentés qui sont exposés à une vaste plage de concentrations de composés organochlorés présentent une diminution du rapport hétérophiles/lymphocytes parallèlement à une augmentation de l'indice physiologique de l'exposition aux contaminants. Chez les oisillons, on a observé une diminution de la masse du thymus parallèlement à une augmentation de l'indice. Ces résultats ont révélé que les contaminants avaient affecté le système immunitaire de cette espèce, même si aucune corrélation spécifique n'a été établie entre les effets constatés et les concentrations de BPC mesurées dans le foie. On a déterminé l'immunocompétence des oisillons du goéland argenté et de la sterne caspienne en injectant de la phytohémagglutinine, un mitogène dérivé de plantes, dans la peau des ailes, puis en mesurant la réaction cutanée au bout de 24 heures (il s'agit d'une mesure de l'immunocompétence par l'intermédiaire des cellules du thymus). Chez les deux espèces, la réaction cutanée a démontré que l'immunocompétence diminuait en fonction de l'accroissement de la teneur en BPC des oeufs. Tant les observations sur le terrain de l'atrophie du thymus que l'immunosuppression mesurée au moyen du thymus corroborent les effets observés des BPC et des dioxines sur les animaux de laboratoire.

3.1.3 État d'avancement de l'inventaire de la recherche

Depuis la signature, en 1972, de l'Accord relatif à la qualité de l'eau dans les Grands Lacs, le Conseil a toujours le mandat d'évaluer la pertinence des recherches et de présenter des recommandations en la matière à la Commission ainsi que de promouvoir la coordination des programmes. Au cours des ans, une série d'inventaires ont été préparés afin de satisfaire à cette disposition. Cette responsabilité a exigé des ressources assez importantes. L'inventaire le plus à jour a été compilé de 1993 à 1995 par la National Oceanic and Atmospheric Administration et le Ministère de l'Environnement et de l'Énergie de l'Ontario, qui sont des agences membres du Conseil. Le personnel du Bureau régional des Grands Lacs coordonne les demandes de renseignements des directeurs de recherche et fait parvenir les données à ces deux dernières agences.

Plusieurs modifications ont aussi été apportées aux méthodes utilisées pour compiler l'inventaire. Par exemple, on recueille des renseignements sur une plus vaste gamme de sujets de recherche depuis que la gestion du bassin des Grands Lacs se fait selon une approche écosystémique. De plus, outre les recherches sur la pollution causée par les éléments nutritifs, les substances toxiques et les radionucléides, on s'intéresse maintenant à l'introduction d'espèces exotiques, à l'utilisation des terres et aux terres humides, aux habitats littoraux et terrestres, à la gestion des ressources halieutiques, fauniques et forestières ainsi qu'aux processus écologiques. Un nouveau système de classement a été créé pour tenir compte de toutes ces catégories d'études.

Dans le passé, la préparation et la publication d'inventaires de la recherche à jour posaient un défi. Les coûts étaient considérables et il arrivait souvent que les données compilées étaient périmées au moment de l'achèvement des documents. Pour la plus récente publication, les travaux ont été effectués au moyen de réseaux binationaux compatibles au sein des deux agences membres susmentionnées, et en outre, le Conseil a décidé que l'inventaire serait accessible par le réseau informatique **Great Lakes Information Network** (GLIN) mais non pas sous forme imprimée.

3.1.4 Recrutement, formation et perfectionnement des scientifiques

Trois préoccupations pour les responsables de la recherche dans les Grands Lacs : recruter, remplacer et fidéliser les scientifiques

Au cours de l'atelier Vision qu'il a organisé à l'automne de 1989 au Niagara Institute, le Conseil des gestionnaires de la recherche des Grands Lacs a reconnu que l'avenir de la recherche dans le bassin des Grands Lacs dépendait des moyens mis en oeuvre pour recruter des scientifiques, assurer la longévité de leurs services ainsi que la relève. Au moment d'établir les priorités pour la période de 1993 à 1995, la Commission mixte internationale a demandé au Conseil de déterminer si les programmes universitaires actuels permettront d'assurer la relève pour la recherche dans le bassin des Grands Lacs.

Le renforcement de la communauté de chercheurs dans le bassin des Grands Lacs commence par la création d'un climat

favorable qui attire et retient les chercheurs. Pour ce faire, il ne suffit pas de subventionner la recherche, de mettre à la disposition des scientifiques des installations adéquates et de faire des énoncés de mission, même s'il faut reconnaître que les subventions assurent une stabilité indispensable aux progrès scientifiques, que la qualité des installations permet d'accroître l'efficacité de la recherche et que les énoncés de mission constituent souvent le point de départ d'un engagement qui stimule les chercheurs, tant sur le plan personnel que professionnel. Il faut aussi créer un climat propice à la recherche, qui attire les scientifiques, leur permet de développer leurs compétences et les encourage à faire preuve d'initiative et de créativité. De plus en plus, les recherches qui portent sur les écosystèmes exigent une expertise dans diverses disciplines et des études de synthèse. La recherche dans la région des Grands Lacs ne peut faire abstraction de cette réalité.

Étant donné la population vieillissante constituée par la communauté de scientifiques spécialisés dans l'écosystème des Grands Lacs et du Saint-Laurent, le Conseil des gestionnaires des Grands Lacs a fait valoir qu'il fallait assurer la relève en recrutant des universitaires diplômés hautement qualifiés et disposés à travailler au sein d'équipes multidisciplinaires. Même s'il s'agit là d'un défi de taille, il faut néanmoins maintenir un milieu intellectuel dynamique dans la région des Grands Lacs si l'on veut que les progrès de la recherche scientifique servent à restaurer et à préserver la qualité des eaux de cet écosystème. Il faut trouver des moyens d'attirer dans le bassin des Grands Lacs les chercheurs canadiens et américains et les diplômés des universités, de convaincre les universités et les laboratoires de recherche des gouvernements de l'importance que revêt ce bassin et de permettre aux scientifiques qui ont une longue expérience de se recycler pour s'adapter aux nouveaux besoins de recherche.

Situation aux États-Unis

Comme le bassin des Grands Lacs s'étend sur une vaste superficie, il faut adopter une approche globale combinant des programmes de recherche intégrée et multidisciplinaire pour étudier et surveiller des phénomènes sur une vaste échelle. Le coût de ces travaux est forcément élevé. Dans les années 1960, c'est le gouvernement américain qui subventionnait les projets de recherche sur les Grands Lacs, en particulier ceux des universités. Étant donné la conjoncture économique actuelle, il est peu probable qu'il dispose des fonds qui lui permettaient auparavant d'offrir des incitations financières intéressantes.

Les universités jouent un rôle primordial dans la recherche qui porte sur les lacs de grande taille, parce qu'elles possèdent un personnel hautement spécialisé ainsi que des installations et du matériel que l'on ne retrouve nulle part ailleurs (bibliothèques, puissants systèmes informatiques et importants musées). De plus, la formation qu'elles dispensent est un facteur déterminant dans le choix de carrière des futurs chercheurs.

Offre

Les statistiques concernant le recrutement et la formation des diplômés universitaires dans les disciplines reliées aux recherches dans les Grands Lacs sont encourageantes. Le nombre d'inscriptions dans les universités américaines a atteint un sommet en 1984, soit environ 15 655 étudiants en sciences de la Terre, en sciences de l'atmosphère et en sciences océaniques. Ce nombre a, par la suite, diminué lentement pour atteindre son plus bas niveau en 1989 avec environ 13 849 étudiants. De 1975 à 1987, le nombre d'étudiants en sciences biologiques est demeuré relativement stable, mais il a augmenté considérablement de 1987 à 1991, passant de 47 138 à 52 120 pendant cette période (Tableau 1). Dans l'ensemble, on a constaté une augmentation progressive des inscriptions qui sont passées de 61 547 en 1984 à 66 867 en 1991 (NSF, 1992).

L'analyse des données concernant le nombre d'étudiants inscrits aux programmes de doctorat en sciences et en génie dans les universités des États des Grands Lacs, d'où proviendront sans doute la majorité des candidats, donne une meilleure idée des possibilités de recrutement des futurs chercheurs. De 1983 à

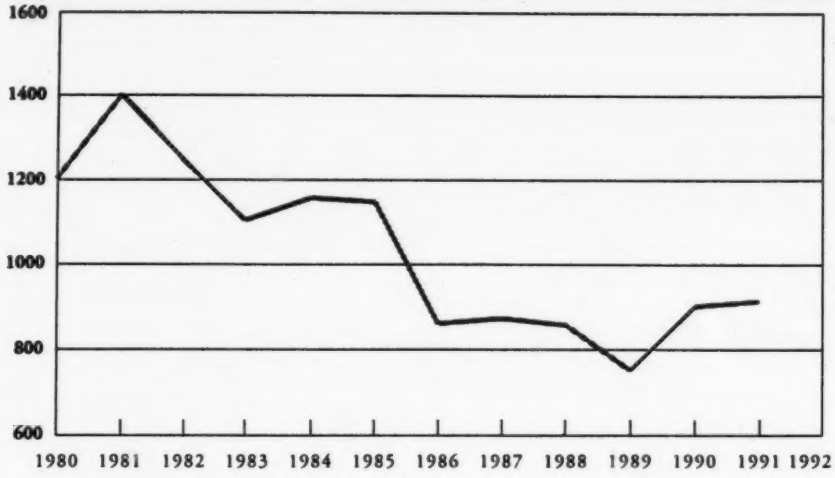
Table 1.
Inscriptions aux programmes de doctorat en sciences et en génie dans quatre des plus importantes universités du bassin. (NSF, 1992)

ANNÉE	WISCONSIN*	MINNESOTA*	OHIO STATE*	MICHIGAN*	TOTAL
1984	5346	5223	4575	4455	19599
1985	5181	5595	4739	4557	20072
1986	5169	5524	5050	4672	20415
1987	5220	5320	5088	4882	20510
1988	5335	5479	4984	4883	20681
1989	5506	5607	4926	5079	21118
1990	5443	5579	5080	5066	21168
1991	5914	5720	5439	5252	22325

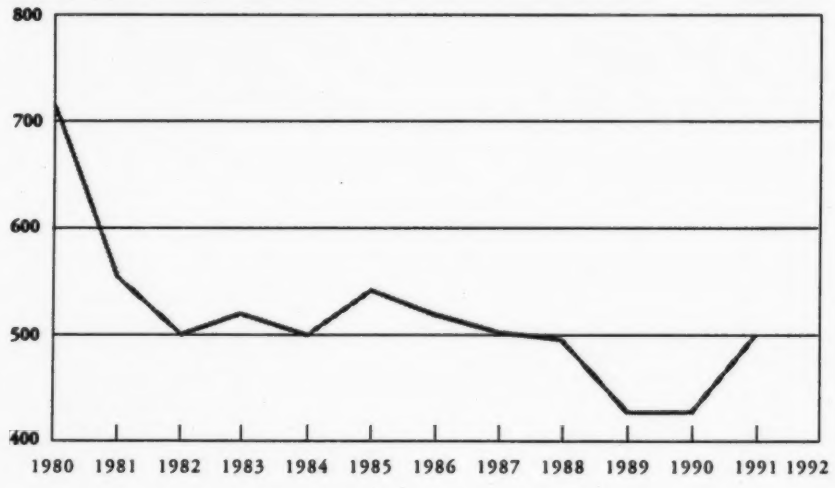
* Quatre des cinq universités américaines comptant le plus grand nombre d'étudiants en sciences et en génie, la cinquième étant l'Université de Southern California.

Figure 1.
Programme du "National Sea Grant" : Nombre de directeurs de recherche (1a),
Étudiants inscrits au doctorat (1b), et Effets de l'inflation sur les subventions (1c).

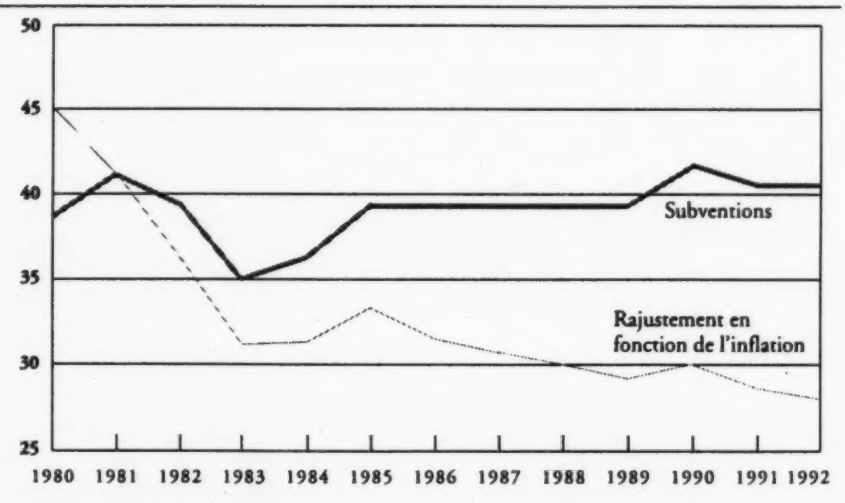
1a.
Nombre de directeurs de recherche



1b.
Nombre d'étudiants inscrits au doctorat



1c.
Effets de l'inflation sur les subventions du Sea Grant College Program
(en millions $US)



1990, on n'a pas observé de variations importantes, le nombre d'inscriptions demeurant à 130 000 environ. Toutefois, en 1991, ce nombre a augmenté de façon marquée pour atteindre 142 000.

Les données portant sur les inscriptions à l'Université du Wisconsin, à l'Université du Michigan, à l'Université du Minnesota et à l'Université Ohio State, les quatre établissements du bassin d'où sortent le plus grand nombre de diplômés en sciences et en génie, permettent de faire une estimation plus précise du nombre de recrues potentielles. Dans ces établissements, qui font partie des cinq universités américaines où l'on compte le plus grand nombre d'étudiants en sciences et en génie, les inscriptions ont augmenté lentement, mais de façon constante, de 1984 à 1991 (Tableau 1).

Même si ces données permettent de conclure que le nombre de candidats provenant des universités du bassin est suffisant pour assurer la relève des chercheurs des Grands Lacs, elles ne disent pas tout. Dans l'ensemble, l'analyse de ces données ne permet pas de déceler un sérieux problème global. Par contre, elles ne sont pas suffisamment précises pour qu'on puisse déterminer s'il y aura une pénurie de limnologues, d'écologistes ou de chimistes spécialisés dans l'étude des eaux. On ignore le nombre d'inscriptions dans les disciplines correspondant aux besoins de recherche du bassin. Jusqu'à preuve du contraire, on présume généralement qu'il existe une corrélation directe entre le nombre d'étudiants inscrits en sciences et en génie et le nombre d'étudiants inscrits dans n'importe quelle discipline en particulier.

Ces données ne nous renseignent pas non plus sur la nature de la formation qui est dispensée ni sur la compétence des diplômés. Toutefois, il y a lieu de penser que, si le bassin de scientifiques est important, on peut attirer des chercheurs hautement qualifiés si les conditions sont intéressantes. Par contre, on est en droit de s'inquiéter de la situation du National Sea Grant College Program qui fait face à une diminution progressive de ses subventions (rajustées en fonction de l'inflation), du nombre d'étudiants inscrits au programme et du nombre de directeurs de recherche qui mènent des projets dans le bassin des Grands Lacs (Figure 1). Étant donné que le Sea Grant Program est l'un des piliers de la recherche universitaire dans les Grands Lacs, la diminution des subventions et du nombre d'étudiants est particulièrement préoccupante.

Demande

On peut établir un lien entre le nombre de scientifiques qui travaillent dans le bassin des Grands Lacs et les subventions de recherche. Parmi les organismes gouvernementaux qui, aux États-Unis, consacrent le plus de fonds à la recherche, mentionnons les laboratoires et les agences du gouvernement américain ainsi que les départements des États chargés des ressources naturelles et de la santé. Les chercheurs universitaires jouent aussi un rôle important parce qu'en plus de mener des recherches, ils forment les étudiants dans des disciplines correspondant aux besoins de recherche dans le bassin des Grands Lacs. Le financement des projets de recherche universitaire n'a jamais été adéquat ni constant, de sorte que les chercheurs ont dû faire preuve d'opportunisme pour obtenir des fonds, ce qui a pour effet de limiter la recherche à des travaux de portée restreinte, au détriment de la recherche à long terme.

En outre, c'est à l'université que les futurs chercheurs apprennent à travailler au sein d'équipes multidisciplinaires, mais les subventions n'ont pas été généreuses pour ce type de formation. Il faut donc compter sur l'accroissement des subventions octroyées aux travaux effectués dans le bassin pour améliorer la qualité des recherches.

Conclusions

Globalement, le nombre d'étudiants en sciences et en génie, aussi bien dans l'ensemble des universités américaines que dans les universités des États des Grands Lacs et dans les quatre principales universités situées dans le bassin, augmente nettement, quoique lentement. Il n'y a pas lieu de croire qu'il y aura une pénurie de diplômés dans les disciplines correspondant aux besoins de recherche dans le bassin des Grands Lacs, bien que la réduction des subventions du Sea Grant Program (rajustées en fonction de l'inflation) puisse avoir une incidence sur le nombre d'inscriptions dans ces disciplines.

Même si, aux États-Unis, l'offre semble satisfaire à la demande, il serait bon néanmoins d'accentuer les efforts pour élargir autant que possible le bassin de chercheurs pour s'assurer que les recherches dans des domaines qui restent encore à déterminer, mais auxquels il faudra inévitablement s'attaquer, sont de la plus haute qualité. Mais, il demeure un point plus important. D'une part, la recherche dans les Grands Lacs ne bénéficie pas d'un programme de subventions adéquat, stable et à long terme. D'autre part, il faut créer un climat qui attirera des scientifiques compétents dans la région. Les chercheurs débutants ne manquent pas et les chercheurs chevronnés, qui peuvent les encadrer, sont encore à l'oeuvre, mais le transfert de connaissances ne peut se faire sans augmentation des subventions.

Situation au Canada

Les gestionnaires des laboratoires de recherche du gouvernement fédéral estiment que le Canada pourrait éventuellement faire face à une pénurie de scientifiques et d'ingénieurs hautement qualifiés. La répartition de l'âge chez les chercheurs n'est pas uniforme, une forte proportion d'entre eux étant d'âge moyen. Au cours des dix dernières années, le pourcentage des scientifiques et des ingénieurs qui ont quitté le gouvernement fédéral était de l'ordre de 4 % à 5 %. Dans un proche avenir, les organismes de recherche et de réglementation risquent de manquer de chercheurs experts.

Offre

Le nombre d'étudiants inscrits dans les départements de biologie et d'agriculture des universités canadiennes a augmenté de 16 % dans les années 1980 (CRSNG, 1989). De même, on a observé une hausse marquée du nombre d'inscriptions aux programmes de doctorat en sciences naturelles (AUCC, 1991). Rien ne permet donc de croire qu'il pourrait y avoir une pénurie de professionnels compétents pour remplacer ceux qui sont sur le point de prendre leur retraite.

Demande

Dans l'ensemble du pays, le nombre de fonctionnaires fédéraux qui travaillent en sciences naturelles et en génie a augmenté, passant de 24 405 en 1981 à 25 905 en 1984. Après avoir atteint ce sommet, il a diminué de 5 % en 1990-1991 pour se situer à 24 628. Cependant, le nombre d'employés de la catégorie scientifique et professionnelle a augmenté de façon constante, passant de 7 635 en 1981-1982 à 8 719 en 1990-1991.

Tableau 2.
Besoins des laboratoires de recherche canadiens des Grands Lacs en diplômés universitaires

	GOUVERNEMENT FÉDÉRAL				GOUVERNEMENT PROVINCIAL	
	Eaux	**Santé humaine**	**Pêches**	**Faune**	**Environnement**	**Pêches**
Roulement de personnel						
Actuellement	5-10%	0,2	5%	10%	2-3%	5%
Dans 5-10 ans	15-50%		5%	50%	2-3%	---
Diplômés universitaires						
Nombre	Trop élevé	Suffisant	Insuffisant	Suffisant	Suffisant	Insuffisant
Compétence	Variable	Faible	Faible	Suffisante	Suffisante	Faible
Perfectionnement	Oui	Oui	Oui	Non	Non	Oui

Situation dans les laboratoires de recherche des Grands Lacs

Le Tableau 2 présente les résultats d'un sondage qui a été effectué pour connaître les besoins en diplômés universitaires de sept importants laboratoires du gouvernement fédéral et du gouvernement de l'Ontario menant des recherches dans le bassin des Grands Lacs. En raison de contraintes budgétaires, le roulement de personnel varie actuellement entre 5 % et 10 %. Mais ce pourcentage pourrait augmenter puisqu'un grand nombre de chercheurs prendront leur retraite au cours des cinq ou dix prochaines années. Certains laboratoires pourraient perdre jusqu'à la moitié de leur personnel scientifique et professionnel au cours d'une année donnée.

Tous les laboratoires, à l'exception de celui des pêches, estiment que le nombre de diplômés universitaires est suffisant. Par contre, seuls les laboratoires de l'environnement et de la faune sont d'avis que les diplômés recrutés sont suffisamment compétents et qu'il n'est pas nécessaire de parfaire leur formation.

Conclusions

- Bon nombre de scientifiques à l'emploi du gouvernement prendront leur retraite à la fin des années 1990.
- L'effectif des universitaires titulaires d'un doctorat en sciences et en génie dans les universités du bassin a légèrement augmenté au cours des dix dernières années.
- On n'envisage pas de pénurie de diplômés compétents pour remplacer les professionnels qui prendront leur retraite.
- La période de recrutement de diplômés compétents pour remplacer les professionnels qui prendront leur retraite au cours des dix prochaines années pourrait être cruciale pour l'avenir de la recherche dans les Grands Lacs.

3.2 EFFETS DES CHANGEMENTS SUR L'ÉCOSYSTÈME DU LAC ÉRIÉ

3.2.1 Application du cadre écosystémique aux moules zébrées dans le lac Érié

Au cours des cinq dernières années, le Conseil des gestionnaires de la recherche des Grands Lacs a élaboré un cadre écosystémique pour aider les gestionnaires à établir les priorités de recherche et les décideurs à examiner les mesures correctives possibles. En collaboration avec l'Environmental Protection Agency et le ministère des Pêches et des Océans du gouvernement canadien, le Conseil a demandé à Steven Underwood et à Richard Duke du College of Architecture and Urban Planning de l'Université du Michigan, à Ann Arbor, de préparer ce cadre. Il s'agissait d'élaborer un diagramme schématique (figure 2) montrant les liens existant entre les connaissances sur les systèmes naturels du bassin des Grands Lacs et les processus sociétaux et institutionnels afin de faciliter la tâche des gestionnaires et des décideurs.

À la demande de la Commission, pour la période de 1993 à 1995, le Conseil des gestionnaires de la recherche des Grands Lacs s'est fixé comme objectif prioritaire de formuler des recommandations en vue de l'application de la méthodologie aux problèmes que posent les moules zébrées dans le lac Érié. À cette fin, il a organisé un atelier à Ann Arbor, les 17 et 18 janvier 1995.

C'est en 1986 que la moule zébrée a été introduite accidentellement dans le lac Sainte-Claire par un bateau européen qui renouvelait son eau de ballast. La moule zébrée, espèce indigène de la mer Caspienne, s'était déjà dispersée dans de nombreuses régions en Europe. Elle mesure environ 2,5 cm de longueur (1 pouce) et peut former des populations d'une densité de plus d'un demi million d'individus par mètre carré sur des substrats durs comme les rochers, les quais, les digues, les bouées de navigation et les coques des bateaux. Les colonies peuvent proliférer au point d'obstruer les conduites de prise d'eau des stations d'assainissement des villes, des usines et des centrales électriques. Les coquilles tranchantes de ce mollusque sont devenues une nuisance visuelle sur les plages fréquentées par les baigneurs. En 1990, la moule zébrée s'était implantée jusque dans des cours d'eau des États de New York, de la Louisiane et de l'Oklahoma. La moule *Couagga*, qui est une espèce étroitement apparentée à la moule zébrée, a été découverte ultérieurement et forme d'importantes colonies sur des substrats meubles comme les sédiments.

Les populations prolifiques de la moule zébrée et de la moule *Couagga* filtrent de grandes quantités d'eau pour y récupérer le plancton. Dans le lac Érié, on a enregistré des déclins «catastrophiques» des populations de plancton, ce qui pourrait se répercuter sur les principales pêcheries, puisque les organismes planctoniques constituent le premier maillon de la chaîne trophique et sont donc indispensables à la croissance des poissons juvéniles. Les effets de ces moules sur la pyramide alimentaire du lac Érié pourraient entraîner l'effondrement de pêcheries lucratives comme celle du doré jaune qui rapporte environ 900 millions de dollars par an.

Pour remédier surtout aux problèmes causés par l'introduction de la moule zébrée dans les Grands Lacs, le Congrès américain a adopté, en 1990, la *Nonindigenous Aquatic Nuisance Prevention and Control Act*, qui prévoyait la création de l'Aquatic Nuisance Species Task Force, un groupe de travail composé de représentants de diverses agences concernées. Ce groupe avait pour mandat d'élaborer un cadre visant à réduire les risques d'introduction accidentelle d'espèces nuisibles et à surveiller et contrôler ces dernières dans les milieux aquatiques où elles sont déjà implantées dans l'ensemble des États-Unis. En outre, le Congrès a autorisé, pour une période de cinq ans, le financement des recherches portant sur les effets de la moule zébrée. Le Conseil des gestionnaires de la recherche des Grands Lacs a lancé ce projet, qui a été partiellement financé au moyen des fonds débloqués par le Congrès parce qu'il était devenu indispensable d'établir des priorités de recherche.

Les incidences de la moule zébrée sur les utilisations bénéfiques et sur l'écologie des eaux du lac Érié soulèvent divers problèmes complexes tant sur le plan scientifique que politique. Dans une situation donnée, les gestionnaires des établissements de recherche peuvent avoir des perceptions et des priorités différentes qui peuvent également s'écarter de celles des organismes de réglementation, des représentants de l'industrie, des chercheurs universitaires et des organisations non gouvernementales. À l'évidence, l'établissement des priorités de recherche devient un processus très compliqué si l'on doit tenir compte de l'avis de chacun. C'est pourquoi l'atelier organisé par le Conseil visait à encourager les participants qui représentaient des points de vue et des intérêts divergents à faire des recommandations touchant les priorités de recherche concernant la moule zébrée et à prendre des décisions qui feraient l'unanimité (Underwood et Duke, 1995a).

Avant le début de l'atelier, les participants ont été invités à se pencher sur cette problématique en prenant part à un exercice de débat philosophique sur les principes de gestion des écosystèmes. C'est grâce à l'initiative, aux encouragements et à l'enthousiasme de Peter Seidl, l'ancien secrétaire du Conseil des gestionnaires de la recherche des Grands Lacs, que Steven Underwood et Richard Duke, en collaboration avec des collègues du College of Architecture and Urban Planning, ont conçu cet outil heuristique qui sert à comprendre la gestion des écosystèmes. Cet exercice s'inspire des «jeux» qui, depuis quarante ou cinquante ans, sont utilisés pour analyser des processus d'une grande complexité. Peter Seidl, qui avait obtenu un congé de la Commission mixte internationale pour se joindre à la Banque mondiale, se trouvait à bord de l'avion qui a disparu dans la jungle bolivienne. C'est en hommage à l'enthousiasme manifesté par Peter Seidl à l'égard du projet que

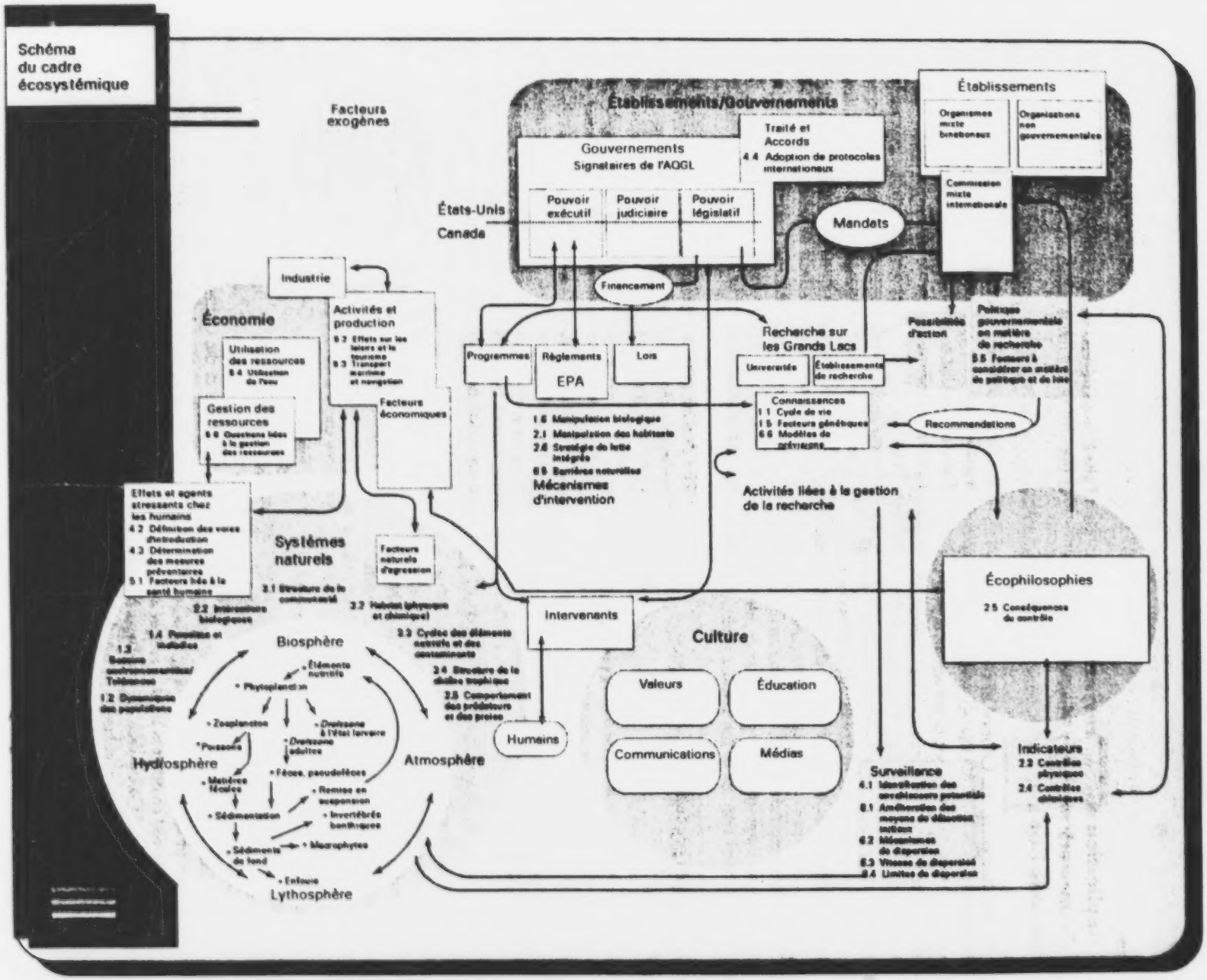


Figure 2. Schéma du cadre écosystémique

les concepteurs ont décidé de donner son nom à ce jeu. SEIDL est également l'acronyme de «Sustainable Environmental Integrative Development of the Lakes» et signifie en français, «développement durable intégré de l'environnement des lacs». On peut se procurer des copies des rapports d'Underwood et de Duke (1995b) au sujet de l'atelier ainsi que le jeu SEIDL sur support informatique.

Les pages suivantes résument les résultats des travaux de l'atelier. Ses vingt-et-un participants étaient regroupés en sept équipes, chacune représentant le point de vue de l'un des groupes suivants : écophilosophes, spécialistes des sciences physiques, décideurs, gestionnaires de programmes, directeurs de recherches, spécialistes des sciences sociales et intervenants. Les participants ont étudié et classé par ordre de priorité les six orientations de recherche qui faisaient partie de l'Aquatic Nuisance Species Program élaboré et proposé par l'Aquatic Nuisance Species Task Force.

Biologie/cycle de vie des espèces non indigènes

«Il faut posséder des connaissances de base sur le cycle de vie et la dynamique des populations des espèces récemment introduites pour prévoir les incidences d'une invasion sur l'écosystème et pour déterminer les caractéristiques biologiques qui aideront les chercheurs à mettre au point des mesures de contrôle efficaces, écologiques et dont le coût n'est pas prohibitif. Parallèlement aux recherches biologiques de base, il serait sans doute particulièrement utile d'étudier les documents portant sur les recherches en cours, pour prendre en considération le cycle de vie, la dynamique des populations, la physiologie et le comportement, la génétique, les parasites et les maladies des organismes dans la détermination de la vulnérabilité de ces derniers à diverses mesures de contrôle. Il faut connaître les tolérances écologiques et environnementales des espèces afin d'établir les limites géographiques potentielles des invasions et de repérer les espèces indigènes et leurs habitats qui sont les plus susceptibles d'être touchés.»

Mesures de contrôle et d'atténuation des effets des espèces non indigènes

«Même si des mesures provisoires peuvent atténuer les effets des envahisseurs, les seules mesures véritablement efficaces de contrôle ne seront élaborées que dans le cadre de recherches à long terme. Le contrôle de la grande lamproie marine est un bon exemple de succès d'une telle intervention. Pour prévoir l'efficacité du contrôle des dommages causés par les envahisseurs, il faut appliquer la même stratégie de recherche que celle qui est employée pour étudier l'ensemble des besoins physiques, chimiques et biologiques de chacune des espèces non indigènes. On ne peut trouver de techniques novatrices et efficaces visant spécifiquement les espèces non indigènes si on ne connaît pas le comportement ni les caractéristiques physiologiques, génétiques et immunochimiques de ces organismes. En d'autres mots, il faut disposer de ces renseignements avant d'amorcer un programme de recherche équilibré sur les mesures de contrôle et d'atténuation des effets des envahisseurs.»

«Une fois les données de base recueillies à partir des études sur la biologie et le cycle de vie des espèces non indigènes, les chercheurs s'occupant des mesures de contrôle et d'atténuation peuvent étudier diverses options : mesures techniques (modification des conduites de prises d'eau, etc.), mesures physiques (grattage, filtrage, etc.), mesures biologiques (parasites, prédateurs, etc.) et mesures physico-chimiques (chaleur, pH, etc.). Ces études doivent être menées en parallèle et doivent viser à trouver des moyens tant à court terme qu'à long terme pour contrôler et atténuer les effets des espèces non indigènes. Enfin, les mesures retenues doivent être écologiques. Les recherches qui portent en particulier sur les biocides proposés doivent tenir compte des risques de toxicité pour d'autres organismes, de la rémanence dans le milieu et de la bioaccumulation.»

Effets sur l'écosystème des espèces non indigènes

«Tout nouvel organisme introduit dans un écosystème peut modifier ou perturber les liens entre les organismes qui y vivent et les processus environnementaux. L'invasion d'un écosystème par une espèce non indigène, notamment en ce qui concerne la compétition pour les sources de nourriture avec d'autres espèces, depuis le zooplancton et le benthos jusqu'aux poissons juvéniles, peut être lourde de conséquences. Elle peut avoir des effets notables sur les populations d'organismes constituant d'importants maillons de la chaîne alimentaire existante, se traduisant finalement par une surpopulation ou la disparition d'espèces importantes déjà implantées. De plus, certains organismes non indigènes peuvent influencer, et peut-être même modifier de façon marquée, les processus environnementaux dont dépend la qualité de l'eau, comme la répartition et le cycle des matières particulaires et des contaminants toxiques et la productivité des nappes d'eau où ils s'introduisent.»

«En conséquence, tout programme de recherche portant sur des espèces non indigènes doit viser en priorité à déterminer et à évaluer les répercussions possibles de ces effets sur l'environnement et l'écosystème à chaque stade du cycle de vie des organismes. Ces renseignements aideront les gestionnaires des ressources naturelles à faire des choix judicieux de sorte que le biote et ses habitats subissent le moins possible les effets écologiques et environnementaux des envahisseurs ou qu'ils puissent s'adapter à ces changements.» .

Prévention de l'introduction d'espèces non indigènes

«Une fois que des espèces non indigènes ont été introduites et qu'elles se sont implantées dans un système aquatique ouvert, il est impossible de les éliminer. Même si l'on peut éventuellement trouver des moyens de réduire ces populations à un niveau acceptable aux plans écologique et socio-économique, dans la majorité des cas, il n'existe guère de méthode efficace pour minimiser les répercussions sur l'écosystème et les pertes de ressources qui s'ensuivent. Il faut donc que les chercheurs mettent l'accent sur la prévention de l'introduction de nouvelles espèces non indigènes dans ces eaux.»

«Il faut d'abord repérer les voies d'introduction possibles. Puis, il faut que les chercheurs essaient de mettre au point des méthodes de prévention peu coûteuses et réalistes. Par exemple, le rejet des eaux de ballast est très souvent à l'origine de l'introduction d'espèces non indigènes dans les

Grands Lacs. Il faut donc tenter d'éliminer cette voie d'introduction sans imposer de contraintes excessives au transport maritime. Les chercheurs doivent aussi procéder de façon similaire pour étudier les possibilités d'éliminer d'autres voies d'introduction comme les rejets délibérés et accidentels, l'aménagement de chenaux, etc.»

«Toutefois, ce ne sont pas toutes les espèces introduites qui se propagent sur une vaste échelle et prolifèrent. En examinant les caractéristiques du cycle de vie de ces organismes et leurs modèles de dispersion antérieurs dans d'autres milieux aquatiques du monde, les chercheurs pourront repérer les espèces les plus susceptibles d'être introduites dans les Grands Lacs et de les peupler.»

Réduction de la dispersion et de l'aire de répartition des espèces non indigènes

«La capacité de prévoir la dispersion d'une espèce non indigène implantée (c'est-à-dire, une population viable capable de se reproduire) dépend des connaissances que possèdent les scientifiques sur les besoins environnementaux et les mécanismes de dispersion de l'organisme. Ce sont ces mécanismes qui permettent à celui-ci de gagner de nouvelles aires favorables à sa croissance et à sa reproduction. L'introduction et la dispersion de la majorité des espèces non indigènes sont dues aux activités humaines (rejet des eaux de ballast, navigation, commerce des animaux familiers, etc.). Cependant, les mécanismes de dispersion diffèrent souvent selon l'espèce et les chercheurs ne peuvent habituellement les caractériser qu'une fois que l'organisme a agrandi son aire de répartition.»

«Des connaissances de base de la biologie des espèces non indigènes et la documentation portant sur les mécanismes de dispersion déjà observés servent à prévoir comment les envahisseurs peuvent se propager. Une fois que les mécanismes de dispersion de chacune des espèces non indigènes implantées sont connus, on peut prendre les précautions nécessaires et adopter des protocoles internationaux afin de prévenir ou de ralentir l'envahissement des zones non touchées. Ces précautions et ces protocoles pourraient également servir à prévenir la dispersion de nouvelles espèces non indigènes qui ne sont pas encore implantées. L'étude et la détermination des mécanismes antérieurs et éventuels de dispersion des envahisseurs permettront d'améliorer les mesures de contrôle et d'atténuation des effets que ces espèces peuvent avoir sur l'écosystème.»

Coûts et avantages socio-économiques de la recherche sur les espèces non indigènes

«Les gestionnaires des ressources naturelles doivent connaître les incidences possibles des espèces non indigènes sur les plans économique et social pour être en mesure de modifier leurs stratégies de manière à contrôler et à gérer ces répercussions. L'expérience montre que chez la plupart des espèces non indigènes, les effets nocifs sont habituellement plus importants que les effets bénéfiques; néanmoins, dans l'intérêt de la société, les chercheurs doivent étudier les deux types d'effets. Ils doivent axer leurs études sur les conséquences possibles pour la santé humaine, notamment en ce qui concerne la propagation des maladies, les concentrations de matières polluantes auxquelles les humains sont exposés et la contamination ou l'assainissement des sources d'eau potable. Les études portant sur les incidences économiques doivent évaluer globalement les répercussions sur toutes les catégories d'utilisations productives des ressources aquatiques, dont les secteurs de la pêche sportive, commerciale et de subsistance, les loisirs et le tourisme, le transport maritime et la navigation ainsi que les utilisateurs d'eau potable et d'eaux industrielles. Il importe aussi d'examiner les possibilités d'utilisation commerciale des espèces non indigènes, comme leur transformation en aliments pour les animaux domestiques ou en engrais pour les potagers et les cultures de plein champ. Enfin, les résultats des recherches doivent servir de base scientifique à l'élaboration de politiques et de lois rationnelles en matière d'environnement ainsi qu'au transfert des connaissances et de la technologie concernant les effets socio-économiques des espèces non indigènes.»

De l'avis des participants, ces six orientations de recherche doivent être classées selon l'ordre de priorité qui suit :

1. prévention des introductions,
2. détermination et analyse des facteurs socio-économiques,
3. contrôle et atténuation,
4. incidences sur l'écosystème,
5. dispersion des populations de moules zébrées implantées,
6. biologie et cycle de vie.

Chacune de ces six orientations de recherche comporte des sous-ensembles que les participants ont également établis et classés par ordre de priorité. Ces derniers ont aussi préparé les énoncés ci-après de leurs propres recommandations portant sur les objectifs de recherche concernant la moule zébrée dans le lac Érié et l'introduction d'autres espèces exotiques.

De l'avis des *écophilosophes*, on peut se servir des nouvelles orientations de recherche pour créer un réseau comportant trois éléments complémentaires ou de même importance :

1. Prendre des mesures correctives directes, visibles et immédiates à divers endroits.
2. Apprendre à adapter les méthodes de gestion de l'environnement (tant à moyen qu'à long terme) selon les situations qui se présentent.
3. Faire de la prévention à long terme à l'échelle du continent et de la planète.

Les *gestionnaires de la recherche* ont interprété différemment les nouvelles orientations de recherche et leurs sous-ensembles. Voici les cinq exigences de base qu'ils ont présentées en ce qui concerne la recherche sur la moule zébrée :

1. Élaborer des protocoles/politiques visant à minimiser/prévenir l'introduction d'autres espèces exotiques.
2. Évaluer les coûts liés à la surveillance des rejets des eaux de ballast des bateaux hauturiers.
3. Élaborer des protocoles/politiques visant à limiter/contrôler les populations d'espèces nouvellement implantées.
4. Mettre au point des stratégies intégrées à long terme en vue de maintenir les populations de moules zébrées à des niveaux acceptables dans le lac Érié (afin de minimiser les répercussions sur l'écosystème).
5. Mettre au point des contrôles physiques peu coûteux et écologiques à l'intention des utilisateurs de l'eau.

Les *décideurs* ont souligné la participation des intervenants et des groupes d'intérêt éventuels dans leur énoncé des priorités de recherche. Ils ont insisté sur le fait que les priorités concernant les moules zébrées dans le lac Érié devaient prévoir des mesures de prévention et d'atténuation. Selon eux, pour assurer une prévention adéquate, il faut identifier les envahisseurs potentiels, leurs besoins environnementaux et leurs tolérances, puis prendre les mesures correctives qui s'imposent en élaborant des lois et en

mettant au point des techniques de prévention appropriées visant particulièrement le transport maritime et la navigation. Lorsqu'une espèce exotique envahit des eaux, la mise en oeuvre de mesures correctives s'impose publiquement. Il faut alors élaborer des modèles permettant de prévoir les répercussions de l'envahisseur sur les cycles des éléments nutritifs et des contaminants, établir des stratégies de lutte intégrée, compte tenu des conséquences des diverses options et mettre au point des contrôles physiques plutôt que chimiques.

Dans leur énoncé, les *spécialistes des sciences sociales* ont abordé les priorités de recherche dans une perspective plus globale. Craignant d'exclure les orientations des autres groupes en proposant une seule orientation de recherche intégrée, ils ont présenté une approche générale pour l'établissement des priorités relatives à la moule zébrée. Ils estimaient que les priorités de recherche pouvaient être établies en se servant des six orientations définies plus haut et en classant par ordre de priorité les éléments retenus d'après le jeu SEIDL. Ils ont également précisé que cette démarche devait être itérative de manière à identifier, selon les besoins, les sujets spécifiques devant faire l'objet de recherches.

Pour leur part, les *intervenants* ont fait ressortir leurs intérêts et leurs points de vue afin de s'assurer qu'on ne les écarte pas ou qu'on ne les oublie pas au cours du processus d'identification des priorités. Au lieu de préparer un énoncé des priorités de recherche, ils ont fait des commentaires sur un certain nombre d'éléments qui les intéressent tout particulièrement. Ils ont attribué une faible cote aux cycles des éléments nutritifs et des contaminants, car ces phénomènes ne suscitent pas de préoccupations à moins que les populations de moules zébrées ne provoquent la prolifération d'algues ou ne réduisent la limpidité des eaux. La détermination des envahisseurs potentiels a reçu une cote intermédiaire, et les autres une cote élevée pour diverses raisons. Les intervenants ont estimé que les secteurs du transport maritime et de la navigation étaient de toute première importance parce qu'ils avaient déjà été fortement touchés et qu'on devait leur éviter d'encourir des dépenses supplémentaires. Comme les intervenants ne sont pas prêts à faire face à d'autres situations imprévues, ils ont jugé que la mise en place de mesures de prévention était importante. À ce titre, ils ont accordé une haute priorité aux contrôles physiques parce que ces mesures excluent toute intervention chimique et qu'ils pourraient permettre d'épargner les organismes non ciblés. Enfin, les intervenants étaient très inquiets des conséquences des contrôles et ils ont recommandé que les chercheurs fassent une étude comparative des conséquences mineures d'une action immédiate et des perturbations de longue durée résultant de l'inaction.

Exception faite des spécialistes des sciences sociales qui ont fait une interprétation beaucoup plus large du processus d'établissement des priorités de recherche, les divers groupes ont reconnu que l'adoption d'orientations constituait un bon moyen de déterminer les priorités de recherche sur la moule zébrée dans le lac Érié. Bien que chaque groupe ait présenté une orientation différente et ait classé les éléments en fonction de ses propres intérêts, les participants se sont entendus sur la démarche à suivre pour établir les priorités d'étude et sur le contenu des orientations de recherche qu'ils venaient de privilégier.

3.2.2 Terres humides

Au moment d'établir les priorités du Conseil des gestionnaires de la recherche des Grands Lacs, la Commission mixte internationale a décidé qu'il fallait préparer un plan de travail pour étudier les effets des changements sur l'écosystème du lac Érié. La Commission a fait ressortir qu'environ les deux tiers des terres humides que comportait au départ le bassin des Grands Lacs ont été détruits et que ces zones jouent un rôle important dans le maintien de populations saines de poissons et d'autres espèces fauniques et la préservation de la qualité et des niveaux d'eau souhaitables. Le dernier de la série de rapports «State of the Lakes» précise qu'en dépit des efforts déployés par chacune des agences depuis plusieurs dizaines d'années, aucune carte détaillée délimitant certaines zones de terres humides américaines et canadiennes n'a encore été établie. En conséquence, on ne possède que des renseignements fragmentaires pour estimer les pertes de terres humides à l'échelle du bassin.

La localisation et la préservation des terres humides sont mentionnées à deux reprises dans l'Accord relatif à la qualité de l'eau dans les Grands Lacs. L'annexe 13 de l'Accord s'intéresse aux sources de pollution non ponctuelles et l'article 3 de l'annexe énonce ce qui suit : «Les terres humides majeures du bassin des Grands Lacs qui sont menacées par la croissance urbaine, la mise en oeuvre des terres agricoles et l'élimination des déchets doivent être identifiées, préservées et, au besoin, réhabilitées». De même, en vertu de l'annexe 17 de l'Accord, les Parties doivent «déterminer les effets des variations du niveau des lacs sur les sources de pollution, notamment en ce qui concerne la conservation des terres humides et le devenir et les effets des polluants dans l'écosystème du bassin des Grands Lacs, conformément aux annexes 2, 11, 12, 13, 15 et 16». Ces extraits de l'Accord expliquent pourquoi la Commission mixte internationale s'intéresse à l'évaluation des techniques de surveillance de la situation des terres humides.

Comme on l'explique ailleurs dans le présent rapport, on a tenu compte de la priorité qui devait être accordée aux terres humides pour développer le modèle du lac Érié. Les pages qui suivent décrivent certains progrès qui ont été accomplis récemment en recherche et développement, notamment dans l'utilisation de la télédétection pour étudier les terres humides dans le bassin des Grands Lacs, et, plus précisément, pour étudier les vastes terres humides du delta du lac Saint-Claire. Le personnel du Bureau régional des Grands Lacs de la Commission mixte internationale a travaillé en collaboration avec des scientifiques et des technologues de la station terrestre de télédétection par satellite de la Chinese Academy of Sciences de Beijing, du Centre canadien de télédétection et d'Intera Information Technologies d'Ottawa, ainsi que du département de géographie de l'Université de Windsor (Li *et al.* 1995).

On a comparé les résultats obtenus à partir de deux systèmes de télédétection par satellite. Le premier, installé sur un satellite Landsat, est un système de cartographie thématique qui capte des informations dans sept bandes du visible et de l'infrarouge. Le deuxième, monté sur le satellite ERS-1, est un radar à ouverture synthétique qui peut recueillir des données à travers une couche nuageuse. En théorie, il peut donc être utilisé dans toutes les

conditions météorologiques. Ces deux systèmes transmettent les données sous forme numérique. Étant donné que le système de cartographie thématique est un détecteur passif, il ne fonctionne pas en présence d'une couverture nuageuse. On s'est donc servi des données de la station d'observation météorologique de Wallaceburg pour déterminer, entre mai 1992 et avril 1993, les dates précises auxquelles ce système a enregistré des données. Deux ensembles de données ont été recueillis par le système de cartographie thématique, au moyen de trois longueurs d'onde. Dix ensembles de données ont été recueillis par le radar à ouverture synthétique.

À partir de cartes topographiques et de photographies aériennes, on a pu identifier les sept classes suivantes dans le delta du lac Sainte-Claire : villes, forêts, terres agricoles, marais de typhas, terres humides de phragmites, marécages, eaux libres. Sept zones correspondant à chacune de ces classes ont été choisies pour l'étalonnage des données radar et pour établir une comparaison avec les données des capteurs optiques. Pour comparer les deux systèmes, on s'est assuré que les données recueillies portaient exactement sur les mêmes zones. Les dix ensembles de données radar ont été soumis à une analyse de composantes principales pour permettre l'affichage de l'information sous forme d'une voie unique et faciliter le traitement informatique ou l'interprétation des images. Des imprimés des images produites à l'aide des divers types de données ont permis d'effectuer des analyses de laboratoire et de faire des comparaisons avec les couvertures végétales observées au cours de visites sur place.

Les résultats ont montré que les deux systèmes sont des outils fiables pour la classification de la couverture végétale dans le delta du lac Saint-Claire, et que les deux ensembles de données jumelés étaient supérieurs à l'un ou l'autre pris isolément. Les meilleurs résultats ont été obtenus par temps chaud et sec et pendant la saison de croissance de la végétation. Dans le cas des données radar portant sur les terres agricoles, les résultats variaient selon que les terres étaient ou non en culture et selon que le terrain dénudé était sec ou humide. Les images tirées des données radar recueillies en mars pour les zones urbaines et les zones de forêt, et en juin pour les zones de phragmites et les marais de typhas, ne pouvaient être différenciées. La définition des images des diverses classes de couverture végétale est faible par temps de gel et est réduite par temps de pluie, tandis que la démarcation entre la végétation et l'eau n'est pas nette dans des conditions de vents.

Figure 3.
Résultats obtenus au moyen du système de télédétection par satellite (*Source :* Centre canadien de télédétection, Géomatique Canada, Ottawa, Ontario).
Image originale provenant du système de cartographie thématique de télédétection monté sur le satellite Landsat-5
Delta de la rivière Saint-Claire et lac Saint-Claire
(Bande 453:RVB 10 juin 1992)
Échelle : 1:190 000

Depuis près de vingt ans, les systèmes de télédétection par satellite constituent un outil fiable pour le classement de l'utilisation des terres. C'est au printemps que la distinction entre les classes est la plus nette. Par exemple, les marécages et les marais de phragmites sont semblables à l'automne, mais en juin, on peut facilement les distinguer. Les meilleurs résultats ont été obtenus en combinant les données de deux longueurs d'onde du système optique et les données radar, après avoir converti celles-ci au moyen d'une analyse de composantes principales et imprimé l'image en une composition fausse couleur, comme le montre la figure 3. Cette technologie présente plusieurs avantages. En premier lieu, elle peut servir à harmoniser les données grâce à l'application de critères uniformes d'une zone administrative à l'autre. En second lieu, elle permet d'utiliser différentes résolutions pour obtenir une couverture globale ou partielle dans l'espace ou dans le temps. Enfin, elle offre la possibilité de réagir dans un délai relativement court. Le projet a démontré que cette technologie pourrait être utilisée par les signataires de l'Accord relatif à la qualité de l'eau dans les Grands Lacs et les pouvoirs publics concernés, pour permettre aux deux pays d'évaluer l'état des terres humides et des autres classes de terres dans le bassin des Grands Lacs.

3.3 ATELIER VISION

Les 21 et 22 février 1995, le Conseil des gestionnaires de la recherche des Grands Lacs a tenu un atelier Vision à Windsor, en Ontario, afin d'évaluer les progrès accomplis par rapport aux objectifs fixés au cours de l'atelier Vision qui avait eu lieu en 1989, à Niagara-on-the-Lake, et de préparer son nouveau programme pour la période de 1995 à 2000.

Les participants ont passé en revue certaines réalisations du Conseil pendant la période de 1989 à 1995. Le Conseil a joué un rôle important pour convaincre les Parties et la Commission mixte internationale qu'il fallait étudier les incidences de l'introduction de la moule zébrée et de la moule *Couagga* dans l'écosystème du lac Érié. Il a élaboré un cadre écosystémique visant à établir le lien entre, d'une part, les systèmes naturels et, d'autre part, les facteurs d'ordre socio-économique et politique. Il s'est servi de ce cadre pour classer par ordre d'importance les priorités de recherche et les mesures correctives concernant l'introduction des espèces exotiques et, en particulier, l'introduction de la moule zébrée.

En outre, le Conseil a publié deux inventaires couvrant respectivement les périodes de 1990-1991 et de 1991-1992 qui répertoriaient les recherches menées dans les Grands Lacs. Enfin il a rédigé un rapport portant sur les indicateurs de l'intégrité de l'écosystème, qui a paru en 1991.

Au cours de l'atelier, le Conseil a réévalué son mandat et a recommandé de l'élargir pour faciliter les communications, la collaboration et la coordination entre les chercheurs et les agences et pour encourager l'analyse et l'intégration des résultats de recherche et le transfert de ces données aux décideurs, aux gestionnaires des ressources et au public.

Les membres du Conseil ont identifié cinq domaines qui doivent être intégrés en priorité à leurs plans d'action.

Communications et sensibilisation

Les scientifiques ont le devoir d'informer le public sur les recherches qu'ils poursuivent et les résultats qu'ils obtiennent, surtout lorsque des questions d'éthique sont en jeu. Cela étant dit, les scientifiques pourraient soumettre les questions controversées au public qui pourrait en débattre en toute connaissance de cause. Quant au Conseil, il devrait jouer un rôle de catalyseur afin que les pouvoirs publics s'entendent pour concevoir, élaborer et promouvoir des protocoles et des normes régissant les travaux de recherche. Les réunions du Conseil pourraient permettre aux membres et aux groupes d'intérêt public d'échanger de l'information sur les priorités et les résultats de recherche. De plus, le Conseil pourrait recruter des spécialistes oeuvrant dans les secteurs socio-économiques, ce qui aurait pour effet d'enrichir les échanges. Enfin, la mise en oeuvre du cadre écosystémique permettrait au Conseil de faire progresser le dossier des communications et de la sensibilisation.

Évolution des tendances

Il importe de souligner à nouveau l'importance de mener des recherches qui se conforment à l'Accord relatif à la qualité de l'eau dans les Grands Lacs et qui tiennent compte des quatorze utilisations diminuées énumérées à l'annexe 2. En particulier, il faut prendre en considération les effets sur les quatre tendances suivantes dans l'établissement des priorités de recherche dans les Grands Lacs : le perfectionnement des scientifiques prévu par la politique du gouvernement fédéral des États-Unis favorisant l'utilisation des ressources internes, la décentralisation des activités du gouvernement fédéral américain vers les États et les communautés au détriment possible de l'orientation des recherches qui portent sur l'ensemble du bassin des Grands Lacs, l'importance accordée aux résultats des évaluations des risques et aux questions privilégiées par les groupes d'intérêt public dans l'établissement des priorités de recherche et la menace d'envergure que représente les composés chimiques qui perturbent le système endocrinien.

Questions organisationnelles

La collaboration des chercheurs de toutes les disciplines et des pouvoirs publics est cruciale pour la planification des recherches. La mise en commun des connaissances spécialisées et des ressources des agences membres du Conseil pourrait non seulement servir de modèle de collaboration et d'expérience d'apprentissage, mais aussi permettre de régler les problèmes qui empêchent le Conseil de remplir ce mandat.

Évaluation des recherches

Au cours des cinq à dix prochaines années, on s'attend à ce que le Conseil s'intéresse de beaucoup plus près à l'évaluation des recherches en raison, entre autres, de l'ampleur des recherches nécessaires à la mise en oeuvre des pratiques de développement durable et de gestion écosystémique. Compte tenu de cette situation et de la diminution constante des ressources humaines et financières, le Conseil estime que l'élargissement de son mandat lui permettra de déterminer de nouvelles orientations de recherche et de planifier la poursuite des projets en cours. Il croit également qu'il faut combiner la recherche pure, la recherche appliquée, la planification stratégique et l'établissement des priorités pour que les Parties puissent remplir leur mandat énoncé à l'annexe 17. On prévoit que la nécessité d'évaluer de façon continue l'efficacité et les retombées des recherches ne cessera de croître et qu'il faudra donc élaborer des critères qui serviront à déterminer les questions sur lesquelles il faudra se pencher.

Développement durable

La théorie du développement durable doit déboucher sur des programmes de recherche réalistes. Ainsi, pour que la théorie devienne réalité, le Conseil doit faciliter l'évaluation des recherches afin de déterminer si celles-ci se conforment aux principes du développement durable. Le Conseil peut accroître considérablement l'efficacité de ce processus en élaborant un «plan de développement durable». En outre, il peut préciser le rôle que doivent jouer les Parties pour encourager le développement durable et faire ressortir les éléments importants de certains projets de recherche, comme le Lake Superior Binational Program, le projet du port de Hamilton et les plans d'action corrective, ce qui contribuerait à mettre en pratique cette théorie qui a un très grand nombre d'adeptes. Les gestionnaires des recherches tireraient profit de l'établissement de liens entre le développement durable et l'approche écosystémique. Le Conseil s'engage à intégrer le développement durable à ses quatre autres domaines prioritaires, notamment les communications et la sensibilisation, l'évolution des tendances, les questions organisationnelles et l'évaluation des recherches.

Les résultats des délibérations du Conseil sont classés par objectif et par ordre de priorité dans les tableaux ci-après qui donnent également les mesures que le Conseil doit prendre pour atteindre ses objectifs. En outre, le Conseil entend, sous réserve de l'approbation de la Commission, ajouter des éléments à son mandat, lesquels sont présentés en italiques dans les objectifs qui suivent. L'ensemble de ces objectifs et de ces mesures constitue ce que le Conseil a appelé «Achievements 2000: The Council's Vision».

Objectif 1 : Promouvoir les communications, la collaboration et la coordination entre les chercheurs, les agences et les Parties dans les secteurs d'activités que la CMI juge prioritaires. En particulier, le Conseil encouragera la collaboration des pouvoirs publics concernés et des chercheurs de toutes les disciplines à planifier et à coordonner les recherches liées à la mise en oeuvre de l'AQGL.

Mesure 1 :	Diffuser les résultats de recherche au public et aux éducateurs.
Mesure 2 :	Favoriser une coordination plus efficace des recherche
Mesure 3 :	Préparer la Phase 2 du modèle écosystémique du lac Érié.
Mesure 4 :	Mettre en oeuvre le cadre écosystémique.
Mesure 5 :	Faire des présentations sur les questions liées aux priorités de recherche pendant les réunions du Conseil.
Mesure 6 :	Améliorer les communications au sein du Conseil et de la communauté scientifique.
Mesure 7 :	Examiner la composition du Conseil.

Objectif 2: Encourager la préparation de synthèses de recherche et leur diffusion auprès des organismes gouvernementaux et des organisations non gouvernementales s'intéressant à la gestion des Grands Lacs *en se servant de mécanismes communs de planification et de communication permettant la diffusion systématique des résultats* et faire part des incidences sur les politiques de ces résultats aux destinataires.

Mesure 1 :	Favoriser l'emploi de mécanismes permettant de synthétiser les ensembles de données de recherche afin d'évaluer les tendances à long terme dans les Grands Lacs (par ex., les tendances des substances toxiques rémanentes).
Mesure 2 :	Créer une page d'accueil pour le Great Lakes Information Network et le World Wide Web.
Mesure 3 :	Favoriser l'apport du public en ce qui concerne les programmes et les priorités de recherche.
Mesure 4 :	Encourager la mise au point de méthodes d'établissement de normes et de protocoles pour l'uniformisation des ensembles de données pouvant servir à des projets spécifiques.

Objectif 3 : Répertorier et résumer les programmes de recherche actuels et projetés qui sont liés à la mise en oeuvre de l'AQGL, *évaluer la pertinence des programmes de recherche des Parties qui sont associés à la mise en oeuvre de l'AQGL et des dispositions de l'annexe 17 et promouvoir le transfert des résultats de recherche aux décideurs, aux gestionnaires des ressources et à la population du bassin.*

Mesure 1 :	Évaluer l'utilité de l'inventaire de la recherche et déterminer si les usagers sont prêts à payer pour y avoir accès.
Mesure 2 :	Selon les résultats obtenus en 1, mettre à jour l'inventaire et le rendre accessible sur le GLIN et produire une version imprimée.
Mesure 3 :	Évaluer et analyser les programmes de recherche et recommander des moyens de remplir les mandats pour lesquels aucune mesure n'a encore été prise.

Objectif 4 : Déterminer les besoins de recherche, établir les priorités, *relever les lacunes* de la recherche et encourager les Parties à faire tout en leur pouvoir pour que les études qui ont un lien direct avec la mise en oeuvre de l'AQGL soient financées en priorité.

Mesure 1 :	Mettre en place un processus formel et une stratégie pour déterminer quelles sont les recherches de toute première priorité.
Mesure 2 :	Rédiger un livre blanc et organiser un atelier portant sur la communication de renseignements concernant les changements observés chez les espèces indicatrices.
Mesure 3 :	Rédiger un livre blanc et organiser un atelier portant sur l'évaluation des facteurs qu'utilisent les Parties pour établir les priorités de recherche (en mettant l'accent sur le rôle des évaluations des risques et des groupes d'intérêt public).
Mesure 4 :	Mettre au point, à l'intention du Conseil, une stratégie d'évaluation des recherches en cours qui permettra de déterminer si celles-ci se confor ment aux principes de l'approche écosystémique et du développement durable.

Objectif 5: Suivre de près les effets de ses propres recommandations de recherche et de celles du Conseil consultatif scientifique pour les eaux des Grands Lacs, du Conseil de la qualité de l'eau des Grands Lacs et de la Commission.

Mesure 1 : Créer l'Evolving Trends Subcommittee, un sous-comité du Conseil, et entretenir des échanges avec le Groupe de travail sur les questions d'actualité du Conseil consultatif scientifique.

Conclusions

Afin de permettre aux chercheurs et aux gestionnaires oeuvrant dans le bassin des Grands Lacs d'atteindre les objectifs qui leur ont été fixés pour l'an 2000, il faut s'assurer que les ressources disponibles, si limitées soient-elles, leur sont affectées.

Le Conseil entend poursuivre ses efforts pour améliorer la qualité des eaux et de l'écosystème des Grands Lacs, ce que souhaite également chacun de ses membres. Son plan d'action, qui est pragmatique et efficace, permettra de mieux comprendre l'écosystème des Grands Lacs et, par le fait même, de prendre d'importantes décisions de gestion.

Le Conseil est confiant que les objectifs élaborés dans le cadre de «Achievements 2000: The Council's Vision» pourront être atteints en dépit de l'incertitude qui règne actuellement. Il reconnaît certes l'importance de gérer les Grands Lacs selon une approche écosystémique, puisqu'il en a lui-même élaboré le «cadre». Toutefois, le Conseil tient à souligner à nouveau la nécessité de poursuivre des projets de recherche d'envergure afin que l'on comprenne la nécessité d'éliminer les substances toxiques rémanentes les plus nocives, que l'on documente davantage les effets de ces dernières et que l'on passe enfin à l'action. De plus, il doit mieux faire ressortir son engagement vis-à-vis du développement durable. À cet égard, les efforts énormes qu'il a déployés pour préparer le prototype du modèle du lac Érié dans le but de mieux comprendre les changements qui s'y produisent, et pour amener les gestionnaires à se conformer aux principes du développement durable constituent des exemples éloquents des progrès accomplis par le Conseil.

Il faut aussi tirer profit des nouvelles technologies de communications pour favoriser le dialogue, les débats et les échanges, notamment entre les scientifiques et les gestionnaires. Bien qu'elles soient simples à utiliser, ces technologies donnent de bons résultats.

L'évaluation des recherches menées au cours des cinq dernières années et l'examen du mandat et des attentes du Conseil ont révélé que l'ensemble des membres estiment que le Conseil a un rôle fondamental à jouer pour rapprocher les scientifiques, les gestionnaires et les groupes d'intérêt publics, pour favoriser la collaboration au cours de l'établissement de son programme et de ses priorités de recherche et pour s'assurer que l'on puisse continuer de débattre de la pertinence des projets de recherche. Les réalisations du Conseil au cours des cinq dernières années traduisent les avantages considérables qu'offre la collaboration entre les Parties et entre les pouvoirs publics concernés.

3.4 BIBLIOGRAPHIE

Agency for Toxic Substances and Disease Registry. *ATSDR Great Lakes Human Health Effects Research Program: Report for FY 1992 to the U.S. EPA, Great Lakes National Program Office.* (in preparation).

Agency for Toxic Substances and Disease Registry. 1994. *Great Lakes Human Health Effects Research Program.* U.S. Dept. of Health and Human Services. Atlanta, Georgia.

Anderson, D.P., and M.G. Zeeman. 1995. Immunotoxicology in Fish, Chapter 12. In: *Fundamentals of Aquatic Toxicology: Effects, Environmental Fate, and Risk Assessment.* G. Rand, Ed., Taylor & Francis, Washington, D.C. pp. 371-404.

Association des universités et collèges du Canada. 1991. Prévenir les pénuries de professeurs : document de discussion sur la situation du marché du travail des professeurs d'universités dans les années 1990.

Bennett, R.O., and R.E. Wolke. 1987. The effect of sublethal endrin exposure on rainbow trout Salmo gairdneri. I. Evaluation of serum cortisol concentrations and immune responsiveness. Journal of Fish Biology 31:375-385.

Cleland G.B., P.J. McElroy, and R.A. Sonstegard. 1989. Immunomodulation in C57B/6 mice following consumption of halogenated aromatic hydrocarbon-contaminated coho salmon(Oncorynchus kisutch) from Lake Ontario, Canada. Journal of Toxicology and Environmental Health, 27:477-486.

Colborn, T., F.S. vom Saal, and A.M. Soto. 1993. Developmental effects of endocrine disrupting chemicals in wildlife and humans. Environmental Health Perspectives 101, 378-384.

Cossarini-Dunier, M., A.K. Siwicki, and A. Demael. 1991. Effects of organophosphorous insecticides. Effect of Trichlorfon and Dichlorvos on the immune response of carp(Cyprinus carpio). III. *In vitro* effects on lymphocyte proliferation and phagocytosis and *in vitro* effects on humoral response. Ecotoxicology and Environmental Safety 22:79-87.

DeRosa, C. and B.L. Johnson. *Strategic Elements of ATSDR's Great Lakes Human Health Effects Research Program.* Toxicology and Industrial Health. (in press).

Dunier M. and A.K. Siwicki. 1993. Effects of pesticides and other organic pollutants in the aquatic environment on immunity of fish: a review. Fish & Shellfish Immunology 3:423-438.

Dunier M.B. 1994. Effects of environmental contaminants (pesticides and metal ions) on fish immune systems. Chapter 11 in: *Modulators of Fish Immune Responses.* J.S. Stolen and T.C. Fletcher, eds., SOS Publications, Fairhaven, New Jersey, Volume 1, pp. 123-139.

Faisal, M., B.A. Weeks, W.K. Vogelbein and R.J. Huggett. 1991. Evidence of aberration of the natural cytotoxic cell activity in Fundulus heteroclitus (Pisces:Cyprinodontidae) from the Elizabeth River, Virginia. Veterinary Immunology and Immunopathology 29:339-351.

Fisher, J.P., J.D. Fitzsimons, G.F. Combs, and J.M. Spitzbergen. *Naturally occurring thiamin deficiency causing reproductive failure in wild salmonid fishes from the Great Lakes basin.* Cornell University, Ithaca, NY. (in prep.)

Grasman, K.A. 1995. Immunological biomarkers and environmental contaminants in fish-eating birds of the Great Lakes. Abstract in 1995 Conference of the International Association of Great Lakes Research, East Lansing, Michigan.

Health Canada, 1995. *Great Lakes Pollutants.* Project Area Reviews. Environmental Health Directorate, Ottawa, Ontario.

Health Canada. 1994. *Great Lakes Health Effects Program. Project Profiles and Progress -- 1990-1994.*

Hnath, J.G. 1994. Proceedings of a workshop on EMS - Early Mortality Syndrome. Great Lakes Fish Health Committee: Great Lakes Fishery Commission. Ann Arbor, Michigan.

Jones, D.H., D.H. Lewis, T.W. Eurell and M.S. Cannon. 1979. Alteration of the immune response of channel Catfish (Ictalurus punctatus) by polychlorinated biphenyls. Animals as Monitors of Environmental Pollutants. Symposium on Pathobiology of Environmental Pollutants: Animal Models and Wildlife as Monitors, pp. 385-386.

Li, C., B. Brisco, R. Brown, J. Wang and J. McDonald. 1995. SAR/TM Wetland Identification in the Lake St. Clair Delta. Compte rendu du 17e Symposium canadien sur la télédétection, Saskatoon, Saskatchewan. (in press).

Munkittrick, K.R., M.E. McMaster, C.B. Portt, G.J. Van Der Kraak, I.R. Smith and D.G. Dixon. 1992. Changes in maturity, plasma sex steroid levels, hepatic mixed-function oxygenase activity, and the presence of external lesions in lake whitefish *(Coregonus clupeaformis)* exposed to bleached kraft mill effluent. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science. 49:1560-1569.

Munkittrick, K.R., M.R. Servos, J.L. Parrott, V. Martin, J.H. Carey, P.A. Flett, and G.J. Van der Kraak. 1994. Identification of lampricide formulations as a potent inducer of MFO activity in fish. Journal of Great Lakes Research. 20(3):355-365.

National Science Foundation. 1992. *Selected data on graduate students and postdoctorates in science and engineering:* Fall 1991. Science and engineering Education Program. Project Monitor: J.G. Huckenpohler.

Noguchi, G.E., J.R. Giesy and R.W. Bull. 1995. Use of *in vitro* assays for assessing the immunomodulatory effects of polychlorinated biphenyls in chinook salmon. Abstract in 1995 Conference of the International Association of Great Lakes Research, East Lansing, Michigan.

Norrgren, L.(ed.) 1993. Report from the Uppsala workshop on reproductive disturbances in fish. Swedish Environmental Protection Agency, Solna, Sweden, 20-22 October, 1993.

Nowell, Arthur R.M and Charles D. Hollister. 1990. A Proposal to Meet Education Challenges: Undergraduate and Graduate Education in Oceanography. Oceanus 33(3):27-38.

CRSNG. 1989. Besoins futurs du Canada en personnel scientifique et technique hautement qualifié.

Saxena, M.P., W. Jones, and P.K. Ray. 1992. Immune responses to Aeromonas hydrophila in catfish (Heteropneustis fossilis) exposed to cadmium and Hexachlorocyclohexane. Bulletin of Environmental Toxicology 48:194-201.

Servos, M.R., K.R. Munkittrick, M.L. Hewitt and I. Scott. 1994. *Isolation of bioactive components of commercial TFM formulations.* Great Lakes Fishery Commission. Ann Arbor, Michigan.

Siwicki, A.K., M. Cossarini-Dunier, M. Studnicka, and A. Demael. 1990. *In vivo* effect of an organophosphorous insecticide: trichlorfon on immune response of carp (Cyprinus carpio). II. Effect of trichlorfon on nonspecific immune response in carp (Cyprinus carpio). Ecotoxicology and Environmental Safety 19:98-105.

Underwood, S. and R. D. Duke. 1995b. SEIDL: Ecosystem Philosophy Game. Unpublished Report. Univ. of Michigan, College of Architecture and Urban Planning, Ann Arbor, MI.

Underwood, S. and R. Duke. 1995a. Ecosystem Framework Policy Exercise: Establishing Research Priorities for Zebra Mussel in Lake Erie. Unpublished Report. Univ. of Michigan, College of Architecture & Urban Planning, Ann Arbor, MI.

Walker, M.K., J.M. Spitsbergen, J.R. Olson, and R.E. Peterson. 1991. 2,3,7,8-Tetrachlorodibenzo-*p*-dioxin (TCDD) toxicity during early life stage development of lake trout *(Salvelinus namaycush)*. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science. 48:875-883.

Walsh, A.H., and W.E. Ribelin. 1975. The pathology of pesticide poisoning. In: *The Pathology of Fish.* W.E. Riber and E. Migahi, eds., University of Wisconsin Press, pp. 22.

Weeks, B.A., D.P. Anderson, A.P. DuFour, A. Fairbrother, A.J. Goven, G.P. Lahvis and G. Peters. 1992. Immunological biomarkers to assess environmental stress. In: *Biomarkers: Biochemical, Physiological, and Histological Markers of Anthropogenic Stress,* edited by R.J. Huggett, R.A. Kimmerle, P.M. Mehrle, Jr., and H.L. Bergman, Lewis Publishers, Boca Raton, FL. pp. 211-234.

Weeks, B.A., J.E. Warinner, P.L. Mason and D.S. McGinnis. 1986. Influence of toxic chemicals on the chemotactic response of fish macrophages. Journal of Fish Biology 28:653-658.

Zeeman, M.G. and W.A. Brindley. 1981. Effects of toxic agents upon fish immune systems. In: *Immunologic Consideration in Toxicology.* R.P. Sharma, editor, CRC Press, Boca Raton, FL. pp. 1-47.

3.5 MEMBRES DU CONSEIL DES GESTIONNAIRES DE LA RECHERCHE DES GRANDS LACS

États-Unis

Mr. Nelson Thomas (U.S. CoChair)
U.S. EPA
Environmental Research Laboratory-Duluth
6201 Congdon Blvd.
Duluth, Minnesota 55804

Mr. Daniel P. Bauer
Area Asst. Regional Hydrologist
Water Resources Division
Western Great Lakes Area
U.S. Geological Survey
6417 Normandy Lane
Madison, Wisconsin 53719

Dr. Alfred M. Beeton, Director
Great Lakes Environmental
Research Laboratory (GLERL)
National Oceanic and Atmospheric Administration
2205 Commonwealth Blvd.
Ann Arbor, Michigan 48105

Dr. Barry L. Johnson,
Asst. Surgeon General
Assistant Administrator
Agency for Toxic Substances and Disease Registry
1600 Clifton Road N.E.
Mail Stop E-28
Atlanta, Georgia 30333

Dr. John M. Laflen,
Laboratory Director
National Soil Erosion Research Laboratory
USDA-Agriculture Research Service
1196 SOIL Building
West Lafayette, Indiana 47907-1196

Mr. Jan A. Miller
Environmental Engineer
U.S. Corps of Engineers
North-Central Division
111 North Canal Street
Chicago, Illinois 60606-7206

Dr. Charles C. Remsen,
Professor of Biological Sciences and Director
Center for Great Lakes Studies
University of Wisconsin
600 East Greenfield Avenue
Milwaukee, Wisconsin 53204

Dr. Jeffrey M. Reutter, Director
Ohio Sea Grant College Program
Ohio State University Research Centre
1314 Kinnear Road, Room 1541
Columbus, Ohio 43212

Dr. Jon Stanley
1460 King Geo. Blvd.
Ann Arbor, Michigan 48104

Ms. Judith Stockdale
Gaylord and Dorothy Donnelley Foundation
350 East 22nd Street
Chicago, Illinois 60616-1428

Dr. Robert G. Werner, Professor
Great Lakes Research Consortium
State University of New York
Environmental Sciences - Forestry
242 Illick
Syracuse, New York 13210

Canada 161

Dr. John M. Cooley (Coprésident canadien)
Directeur
Laboratoire des Grands Lacs pour les pêches
et les sciences aquatiques
Centre canadien des eaux intérieures
C.P. 5050
867, chemin Lakeshore
Burlington (Ontario) L7R 4A6

Mme Lynn Cleary
Centre Saint-Laurent
Environnement Canada
105 McGill, 4e étage
Montréal (Québec) H2Y 2E7

M. Denis Croux, Directeur
Division des subventions à la recherche
Conseil de recherches en sciences humaines
255, rue Albert
C.P. 1610
Ottawa (Ontario) K1P 6G4

Dr. John Lawrence
Direction de la protection de l'écosystème aquatique
Institut national de la recherche sur les eaux
Centre canadien des eaux intérieures
C.P. 5050
867, chemin Lakeshore
Burlington (Ontario) L7R 4A6

Dr. Charles Frank Marks, Directeur
Direction générale de la recherche
Agriculture et Agroalimentaire Canada
1391, rue Sandford
London (Ontario) N5V 4T3

M. W. Keith Marshall
Chef, Toxicologie de la faune
Centre national de recherche faunique
Service canadien de la faune
Environnement Canada
100, boul. Gamelin
Hull (Québec) K1A 0H3

M. John Neate
Chef des opérations
Centre de technologie des eaux usées
C.P. 5068
867, chemin Lakeshore
Burlington (Ontario) L7R 4L7

Mme Judi Orendorff
Recherches sur les pêcheries
Ministère des ressources naturelles de l'Ontario
10401, rue Dufferin
C.P. 5000
Maple (Ontario) L6A 1S9

Dr. Harvey Shear
Conseiller scientifique régional
Environnement Canada
867, chemin Lakeshore
Burlington (Ontario) L7R 4A6

Dr. Peter Toft, Directeur
Bureau des dangers des produits chimiques
Direction générale de la protection de la santé
Santé Canada
Parc Tunney
Ottawa (Ontario) K1A 0L2

Mme Helle M. Tosine, Directrice
Direction de l'élaboration des programmes
Ministère de l'Environnement et de l'Énergie de l'Ontario
40, avenue St. Clair, 14e étage
Toronto (Ontario) M4V 1M2

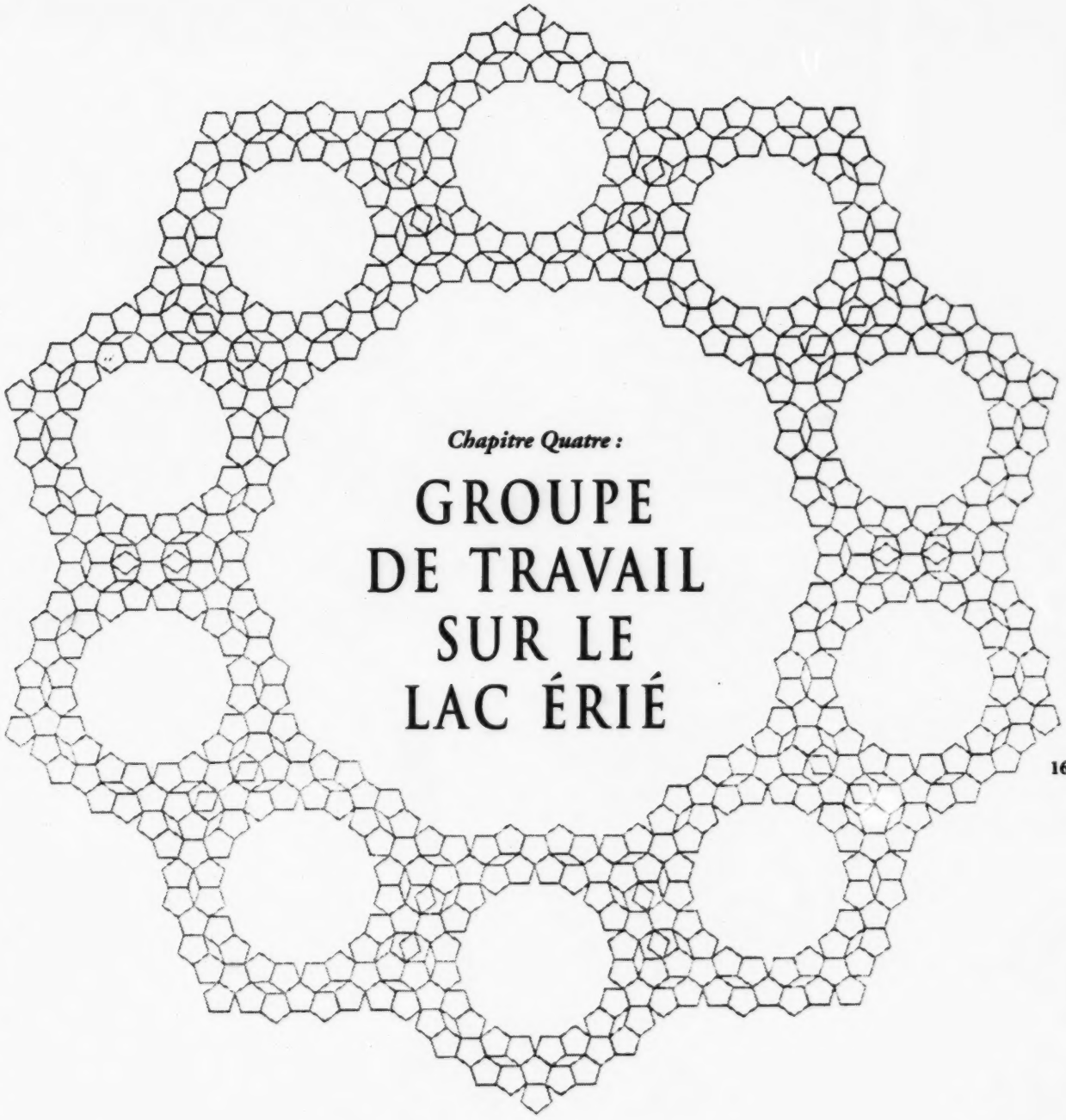
Personnes-ressources

M. Bruce Bandurski
International Joint Commission
1250 23rd Street, N.W., Suite 100
Washington, D.C. 20440

Dr. Rudy Koop
Commission mixte internationale
100, rue Metcalfe, 18e étage
Ottawa (Ontario) K1P 5M1

Tâches de secrétariat

M. Michael Gilbertson, Biologiste
Commission mixte internationale
Bureau régional des Grands Lacs
100, avenue Ouellette, 8e étage
Windsor (Ontario) N9A 6T3



Chapitre Quatre :

GROUPE DE TRAVAIL SUR LE LAC ÉRIÉ

Préamble 165

Une lettre des co-présidents 165

4.0 MANDAT CONFIÉ AU GROUPE DE TRAVAIL SUR LE LAC ÉRIÉ PAR LA COMMISSION MIXTE INTERNATIONALE 166

4.1 QUEL EST LE BILAN DU LAC ÉRIÉ? 167
4.1.1 Questions en matière de gestion 167

4.2 MISE AU POINT DU PROJET DE MODÉLISATION 168
4.2.1 Initiative I : Examen des modèles écologiques existants 168
4.2.2 Initiative II : Profil du prototype de modèle écologique pour le lac Érié 169
Composantes du prototype 169
Utilisation des modèles existants pour la mise au point du prototype 169
Utilisation du Prototype du lac Érié 170

4.3 PREMIÈRES OBSERVATIONS 171

4.4 RECOMMANDATIONS 172
Étape 1 : Adopter une approche de «création d'un potentiel» pour la mise au point du modèle 172
Étape 2 : Communiquer les capacités du modèle 172
Étape 3 : Entreprendre un processus itératif de correction 172
Étape 4 : Consulter les utilisateurs 172
Étape 5 : Mettre à l'essai le principe des trois bassins 172

4.5 RÉSUMÉ 173

4.6 RAPPORTS DES EXPERTS-CONSEILS AU GROUPE DE TRAVAIL 173

4.7 BIBLIOGRAPHIE 174

4.8 MEMBRES DU GROUP DE TRAVAIL DU LAC ÉRIÉ 175

Annexe A : Hypothèses clés pour la mise au point d'un prototype 176

FIGURE

1. Flux énergétique et migration des contaminants établis par simulation dans le modèle écologique du lac Érié 170

PRÉAMBULE

La version actuelle du modèle du lac Érié est un *prototype* destiné à servir de cadre à de nouveaux perfectionnements du modèle, y compris l'intégration d'autres questions d'intérêt pour les gestionnaires et les chercheurs du lac Érié et des Grands Lacs.

On n'entend pas, à ce stade de développement, faire de ce modèle un outil de gestion; de nombreux essais, déterminations et étalonnages demeurent nécessaires. Une fois cette dernière étape franchie, le modèle devrait, de l'avis du Groupe de travail, grandement faciliter la compréhension et la gestion de l'écosystème du lac Érié, ainsi que l'établissement des priorités de recherche. En fin de compte, il pourrait contribuer à l'instauration des stratégies de gestion pour l'ensemble des Grands Lacs.

Le Groupe de travail encourage les examinateurs à utiliser le modèle pour effectuer des essais, ajouter des données et explorer des hypothèses. Il met en garde toutefois contre l'utilisation du modèle, à ce stade de développement, pour l'élaboration de stratégies de gestion.

UNE LETTRE DES CO-PRÉSIDENTS

Le rapport ci-joint décrit les travaux effectués par le Groupe de travail sur le lac Érié au cours des deux dernières années. La tâche que nous avait confiée la **Commission mixte internationale** (CMI) consistait à fournir des conseils sur l'impact des divers agents stressants sur l'écosystème du lac Érié. Fidèles à la philosophie de la CMI, nous avons travaillé en collaboration avec des intervenants des milieux gouvernementaux et universitaires, dont des modélisateurs et des gestionnaires experts, qui nous ont accordé leur temps pour des raisons d'intérêts communs au sujet de l'état du lac Érié et de son évolution.

Le Groupe de travail a entrepris sa mission en faisant appel à une solide expertise technique en matière de modélisation, en s'efforçant de réduire les risques de dédoublement, et en assurant de fréquentes interactions et une consultation avec les intervenants clés. À notre avis, une telle collaboration ouvre la voie à une approche de modélisation axée sur une exploitation durable de l'écosystème.

Nous avons réuni des groupes de discussion et organisé des ateliers dans le but de recueillir les conseils experts d'un groupe varié de gestionnaires et de scientifiques dynamiques. Nous avons mis à profit les idées, les suggestions, les connaissances et les préoccupations de certains des meilleurs esprits scientifiques et politiques de la région du bassin des Grands Lacs.

Les données ainsi recueillies ont servi de base à l'élaboration du Prototype de Modèle Écologique. Plusieurs approches s'offraient à nous. Au terme d'un examen approfondi, nous en avons choisi une. Cela n'était toutefois qu'un début; nous pouvons maintenant établir une structure et un processus de modélisation durables qui demeureront précieux, pour nous, pendant de nombreuses années.

Le rapport suivant décrit l'approche retenue pour la mise au point du modèle, présente la portée et le potentiel du modèle et recommande les prochaines étapes que devrait envisager la Commission mixte internationale. C'est avec beaucoup d'enthousiasme que nous entrevoyons la poursuite de ces travaux.

Veuillez agréer l'expression de nos sentiments respectueux.

M. Jeffrey Reutter
Co-président pour les É.-U.
Groupe de travail
sur le lac Érié

M. Douglas Dodge
Co-président pour le Canada
Groupe de travail
sur le lac Érié

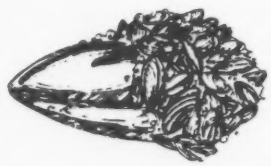
4.0 MANDAT CONFIÉ AU GROUPE DE TRAVAIL SUR LE LAC ÉRIÉ PAR LA COMMISSION MIXTE INTERNATIONALE

Dès le début du cycle biennal, en octobre 1993, les commissaires ont confié une série de priorités et de sous-éléments connexes aux divers conseils et comités de la **Commission mixte internationale** (CMI). Y figuraient le «Cadre écosystémique» et les «Milieux humides» attribués au Conseil des gestionnaires de la recherche des Grands Lacs, ainsi que l'«Usage des pesticides», la «Nappe souterraine» et le «Groupe de consultation sur les pollutions dues aux utilisations des terres (GCPUT)», placés sous la responsabilité du Conseil sur la qualité de l'eau. Le présent document traite de ces sous-éléments sous les rubriques pertinentes.

Le sous-élément «Changements écologiques», tout d'abord confié au Comité directeur du lac Érié, a été par la suite élargi de manière à englober la préparation d'un prototype de modèle écologique pour le lac Érié. Le comité a été transformé en groupe de travail qui a été doté des ressources nécessaires pour s'acquitter de son nouveau mandat.

Dans son *Septième rapport biennal sur la qualité de l'eau dans les Grands Lacs*, publié en 1994, la **Commission mixte internationale** créait le Comité directeur du lac Érié, qui prendra ultérieurement le nom du Groupe de travail sur le lac Érié. Cette création figurait au rang des priorités du Conseil des gestionnaires de la recherche des Grands Lacs. En qualité de facilitateurs et d'agents catalyseurs pour la recherche sur les Grands Lacs, les membres du Conseil avaient relevé la nécessité d'acquérir une compréhension globale des changements survenus dans l'écosystème du lac Érié. Le Groupe de travail avait pour tâche de fournir à la Commission des conseils au sujet des répercussions des divers agents stressants sur l'état de santé du bassin du lac Érié. En particulier, le Groupe de travail devait centrer ses efforts sur les effets nuisibles des agents stressants chez les communautés benthiques et de poissons du lac Érié, et présenter un rapport sur la question à la CMI, lors de sa huitième Assemblée biennale sur la Qualité de l'eau des Grands Lacs.

Après de longues discussions et à l'issue de l'examen des initiatives et les activités entourant l'état du lac Érié, le Groupe de travail a convenu de la nécessité de mettre au point un modèle écosystémique pour ce lac. Ce modèle intégrerait les connaissances actuelles, déterminerait les liens existant entre les agents stressants et l'équilibre de l'écosystème, et serait en mesure d'évaluer et de prévoir les effets nuisibles éventuels d'espèces non indigènes introduites dans le lac Érié. Il a été jugé important d'obtenir des avis et des conseils d'experts scientifiques sur le terrain avant de dégager des conclusions sur la nécessité et l'objet d'un tel modèle.



Avant d'établir un modèle, le Groupe de travail a organisé un atelier afin de déterminer ce que devraient être la nécessité, la portée et les limites de ce modèle. Les résultats de cet atelier, tenu en juin 1994, ont encouragé le Groupe de travail à poursuivre la mise au point d'un modèle écosystémique pour le lac Érié. Les participants à l'atelier ont confirmé la nécessité de créer un modèle pour le lac Érié et ont dégagé les principaux éléments d'une démarche en vue de la mise au point du modèle, notamment : un inventaire complet des modèles existants, centré sur leur portée, leurs liens et leurs lacunes au chapitre des données; ainsi que l'élaboration d'un modèle des agressions et des interventions relativement aux moules zébrées, pour vérifier des questions et des liens d'une importance primordiale.

Les participants ont reconnu les avantages liés à l'exercice d'un rôle de coordination et de direction de la part de la CMI quant à l'élaboration d'un modèle pour le lac Érié, et ils ont insisté sur la nécessité d'une participation de la part de ceux qui, en fin de compte, utiliseront le modèle, notamment, les responsables des organismes fédéraux, provinciaux, et des divers États en matière de gestion des ressources et de protection de l'environnement pour le lac Érié, la Commission des pêcheries des Grands Lacs, ainsi que d'autres intervenants.

4.1 QUEL EST LE BILAN DU LAC ÉRIÉ?

En ce qui concerne la qualité de l'eau, l'état actuel du lac Érié n'est qu'une demi-réussite. On atteint maintenant les cibles établies à l'égard des charges en phosphore. La réduction de ces charges, conjuguée aux effets filtrants de la moule zébrée et de la moule Couagga, a considérablement amélioré la transparence de l'eau.

En 1993, les teneurs en phosphore et en chlorophylle dans les bassins de l'est et du centre s'approchaient des conditions oligotrophes. Les lectures au disque de Secchi étaient, en moyenne, de plus de 4 mètres (13 pieds). Beaucoup de riverains se réjouissent de la plus grande transparence des eaux de leur lac. Dans l'ensemble, toutefois, cette réussite apparente peut être trompeuse.

Les tendances qui, auparavant, faisaient état d'une réduction des charges corporelles de contaminants dans le poisson et les espèces sauvages semblent maintenant se stabiliser. On peut observer une hausse des concentrations d'hydrocarbures chlorés rémanents dans les poissons appartenant à certains groupes d'âge.

Les écosystémologues signalent que les populations de l'invertébré *Diporeia* ont diminué de 40 % depuis 1965. Les populations de gammares et d'oligochètes se sont considérablement accrues, tandis que les unionidés indigènes ont presque disparu. Le changement d'état trophique du lac peut être un signe que ce dernier n'est pas en mesure de soutenir les rendements de captures élevés du passé : les stocks de baret, de perchaude et d'éperlan baissent rapidement.

Du point de vue de la productivité du poisson, la pêche au doré jaune et à d'autres espèces a connu un regain considérable au cours des années 1980. Ce regain semble toutefois s'affaiblir.

Les gestionnaires et les pêcheurs disent craindre que cette situation résulte de nouvelles réductions des charges en phosphore, conjuguées à l'impact évident des moules zébrées et des moules Couagga sur le transfert d'énergie et le cycle des éléments nutritifs.

Le lac Érié domine une fois de plus les préoccupations des groupes d'usagers et des gouvernements. Bref, la réussite pourrait être éphémère. À mesure que la prochaine décennie avancera, nous devrons devenir mieux informés de la dynamique globale de l'écosystème, de l'interdépendance des agents stressants, et des répercussions globales nettes de ces agents sur l'écosystème du lac. Une telle compréhension revêt une importante déterminante pour la prochaine série de décisions de gestion sur la qualité de l'eau et la gestion des pêches dans le lac Érié.

4.1.1 Questions en matière de gestion

Ces changements dans le lac Érié poseront autant de défis aux scientifiques ainsi qu'aux gestionnaires dans les domaines de la recherche et des programmes des Grands Lacs. Les questions sont plus nombreuses que les réponses. On ne peut pas attribuer tous les changements survenant dans le lac Érié aux invasions de la moule zébrée et de la moule Couagga, ni aux réductions marquées des charges en phosphore. D'autres facteurs peuvent être la source des changements observés; par exemple, le déclin des stocks de poisson fourrage peut être un signe de la présence de nombreux prédateurs dans le lac.

En 1994, le lac Érié représentait une priorité absolue pour la plupart des organismes. On a tenu plusieurs réunions et ateliers en vue de coordonner les programmes; toutefois, on craignait de plus en plus qu'un grand nombre de projets indépendants les uns des autres ne puissent permettre de diagnostiquer les problèmes et de prendre des mesures de gestion efficaces.

On a noté des lacunes importantes au chapitre des connaissances. On ignorait notamment :

- l'effet des moules zébrées et des moules Couagga sur le transfert d'énergie;
- les effets d'une baisse continue des concentrations de phosphore sur la production du poisson;
- l'impact du cycle des contaminants sur l'état physique, biologique et chimique de l'écosystème du lac Érié;
- le rôle joué par la perte et(ou) le changement des habitats ou des milieux humides, dans le domaine du transfert d'énergie et de la biodiversité;
- l'effet des eaux souterraines et leurs répercussions sur la qualité de l'eau.

D'autres questions pertinentes se rattachent aux décisions de gestion qu'il faudra bientôt prendre pour assurer une meilleure gestion des pêches et de la qualité des eaux du réseau. Elles portent notamment sur les poins suivants :

- les facteurs qui provoquent des changements dans l'écosystème du lac Érié;
- la manière de prendre des décisions éclairées en l'absence de ces connaissances;
- la manière de mettre en équilibre les intérêts opposés en matière de gestion des ressources; par exemple, la transparence de l'eau par opposition à la productivité du poisson.

4.2 MISE AU POINT DU PROJET DE MODÉLISATION

À partir des résultats de l'atelier de juin 1994, le Groupe de travail a entrepris le **Projet de modélisation écologique du lac Érié** (PMELE) en janvier 1995. Ce projet avait pour but d'encourager la mise au point d'un modèle écologique qui permettrait une meilleure compréhension des changements rapides subis par l'écosystème du lac Érié.

Le Projet de modélisation du lac Érié comprenait deux grandes initiatives :

- un examen complet des modèles écologiques existants afin de décrire les principales caractéristiques et d'évaluer l'applicabilité de ces dernières à l'élaboration d'un modèle pour le lac Érié;

- la mise au point d'un prototype de modèle pour le lac Érié pour examiner les aspects chimiques, physiques et biologiques ainsi que les rapports qui existent entre eux, et pour intégrer les effets de l'infestation des moules zébrées et des moules Couagga comme agents stressants dans le lac Érié.

Le LURA Group, un cabinet de planification environnementale basé à Toronto, M. Joseph Koonce, expert en modélisation pour les Grands Lacs, et M^me^ Ana Locci de la Case Western Reserve University de Cleveland, Ohio, ont constitué une équipe de consultation binationale. Au début du projet, l'équipe de consultation a créé un groupe cadre de consultation des gestionnaires responsables des pêches et de la qualité de l'eau dans le lac Érié. Ce groupe a fourni des avis et des conseils d'une extrême importance au sujet de la mise en application des Initiatives I et II du PMELE.

4.2.1 Initiative I : Examen des modèles écologiques existants

On a passé en revue neuf projets de modélisation écologique dans le but de cerner les caractéristiques s'appliquant à la conception et au développement du PMELE; ces projets sont brièvement décrits dans cette section. Pour plus de détails, prière de consulter le rapport du groupe de travail intitulé *Initiative I Report: Review of Existing Ecological Models, March, 1995*. Les neuf modèles, qui variaient considérablement quant à leur but, leur complexité, leur niveau de développement et quant à la nature et à la quantité des informations accessibles à leur sujet, sont énumérés ci-après :

1) Puget Sound Systems Model;
2) Green Bay Mass Balance Study (GBMBS);
3) Sustainability of Intensively Managed Fisheries (SIMPLE) Model;
4) Chesapeake Bay Ecosystem Model;
5) Eutrophication Model for Louisiana Inner Shelf (Gulf of Mexico);
6) Lake Erie Information Forecasting System (LEIFS);
7) Saginaw Bay Zebra Mussel Model;
8) Lake Michigan Mass Balance Project (LMMBP);
9) Network Model of Lake Ontario and Erie.

Ces neuf modèles ont été mis au point dans le but d'étudier des fonctions écosystémiques précises. Certains reposent sur la même structure ou contiennent des modèles de sous-systèmes communs. Le Puget Sound Systems Model a été mis au point en 1975 comme outil de prise de décisions sur la qualité de l'eau. Ce modèle, conçu pour élargir l'application de modèles antérieurs, a ultérieurement été développé pour devenir le **Water Quality Analysis Simulation for Toxics Model** (WASP4). La structure du modèle WASP4 sert de base à plusieurs modèles courants, dont le GBMBS et l'Eutrophication Model for the Louisiana Inner Shelf (Gulf of Mexico) indiqués en 2 et en 5 ci-dessus.

Le GBMBS concerne les charges en éléments nutritifs, en matières solides et en contaminants avec des concentrations dans la colonne d'eau et les sédiments. La structure du WASP4 est une approche de sous-modèles reliés qui comprend deux parties : la concentration (physico-chimique) des expositions et les composantes de la chaîne alimentaire (EPA des É.-U., 1989). L'objectif consiste à être en mesure de prévoir les concentrations dans l'eau, les sédiments et le biote selon différents scénarios de réglementation et d'intervention.

L'Eutrophication Model for the Louisiana Inner Shelf (Gulf of Mexico) utilise une version modifiée **Limno-Tech, Inc.** (LTI) du modèle WASP4/EUTRO4 de la **U.S. Environmental Protection Agency** (EPA des É.-U.). Ce modèle se limite à l'examen de la production primaire. Il a été utilisé pour évaluer les effets des réductions des charges en éléments nutritifs dans le Mississippi et la rivière Atchafalaya sur la productivité primaire et l'oxygène dissous.

Le Lake Michigan Mass Balance Model propose, aux étapes de développement, l'application de la même approche de sous-modèles reliés que pour Green Bay. Le modèle à bilan massique pour les matières toxiques dans le lac Michigan utilisera certains des modèles de base utilisés pour le GBMBS. Il comprendra des simulations interreliées de l'hydrodynamique, de la dynamique de l'eutrophisation et des sorbants, du transport des particules, du transport et de la transformation des contaminants ainsi que de la bioaccumulation.

Le Saginaw Bay Zebra Mussel Model représente le réseau trophique primaire, y compris les moules zébrées, dans une structure de modélisation du bilan massique. Il est fondé sur le modèle d'origine de phytoplancton à catégories multiples ayant servi à la détermination de la charge cible en phosphore pour la baie de Saginaw, dans le cadre de l'Accord de 1978 relatif à la qualité de l'eau dans les Grands Lacs. Le modèle sur le

phytoplancton et la moule zébrée est un outil de recherche; aucun organisme de gestion ne l'a encore utilisé.

Le modèle LEIFS fait partie du **Great Lakes Forecasting System** (GLFS), qui établit, par tranches de six heures, des prévisions des courants, des températures, des vagues forcées, des niveaux d'eau et des données physiques connexes. On peut facilement avoir accès au modèle par modem ou par internet de manière à améliorer les activités commerciales et récréatives, à assurer une meilleure gestion des ressources et à éviter les dangers.

Le Chesapeake Bay Ecosystem Model porte sur le transfert d'énergie, d'azote et de phosphore dans l'écosystème. Il illustre la dynamique saisonnière de l'écosystème de la baie de Chesapeake en fournissant de l'information sur les taux de transfert d'énergie entre les composantes trophiques.

Le modèle SIMPLE, tel qu'il est appliqué aux lacs Michigan et Ontario, est un outil d'aide à la décision pour la gestion des pêches qui comprend des éléments économiques et sociaux.

Le Network Model of Lake Ontario and Erie est similaire au prototype de modèle écologique actuellement mis au point par le Groupe de travail sur le lac Érié. Ce modèle en réseau est encore au stade embryonnaire; l'une de ses principales fonctions consiste à prévoir la production de poisson pour les gestionnaires des pêches. Cette approche de la modélisation en réseau devrait créer des liens entre une gamme variée de modèles de sous-systèmes, dont l'un est le modèle SIMPLE. On propose le développement du modèle en réseau pour le lac Ontario en premier, puis son adaptation pour le lac Érié par la suite. Le développement de ce modèle en étant encore à ses débuts, les détails des fonctions du modèle n'ont pas encore été précisés.

Tous les modèles actuellement utilisés appartiennent au domaine public; dans la plupart des cas, toutefois, il faut posséder une certaine formation pour pouvoir les utiliser. Le Chesapeake Bay Ecosystem Model s'accompagne d'une documentation complète, y compris les données requises, une bibliographie, un mode d'emploi et des guides en vue de l'interprétation des données. Le modèle LEIFS permet au public d'avoir accès, par modem ou par internet, à des documents à jour ou historiques contenus dans la base de données du Great Lakes Forecasting System de l'Ohio State University. Des cartes bidimensionnelles peuvent être affichées sur écran d'ordinateur. Le GBMBS représente l'autre extrême; il existe peu de documentation et l'utilisateur du modèle doit posséder une solide formation ou une longue expérience en modélisation.

Les travaux se poursuivent sur plusieurs de ces modèles; cependant, deux d'entre eux pourraient très bien contribuer à l'effort actuel de concentration sur le lac Érié : le Network Model of Lakes Ontario and Erie et le Lake Erie Trophic Transfer Model. Le Network Model, limité à l'origine au lac Ontario, a été conçu pour aider les gestionnaires des pêches à prévoir la productivité du poisson. L'entrepreneur n'a pu utiliser aucune caractéristique du Lake Erie Trophic Transfer Model, étant donné l'échéancier de ce projet.

D'après cet examen, le modèle SIMPLE était celui qui a fourni l'approche la plus globale pour l'élaboration de la composante des pêches du modèle écosystémique. En outre, sa portée structurelle permet de traiter les questions liées aux éléments nutritifs, aux contaminants ainsi qu'aux espèces exotiques. Ce modèle est ensuite devenu le coeur du PMELE.

4.2.2 Initiative II : Profil du prototype de modèle écologique pour le lac Érié

Composantes du prototype

Le prototype est formé de six grandes composantes intégrées et en interaction :

1) charge en phosphore
2) charge en contaminants, notamment
   - BPC
   - mercure
   - DDT
   - atrazine
3) moules zébrées
4) zooplancton
5) zoobenthos
6) ichtyofaune, notamment
   - doré jaune
   - alose à gésier
   - ménés
   - malachigan
   - gaspareau
   - lotte
   - perchaude
   - truite arc-en-ciel
   - bar blanc
   - cisco
   - éperlan
   - touladi
   - baret
   - achigan à petite bouche

Le prototype est une représentation simplifiée du réseau trophique de l'écosystème du lac Érié. Le modèle simule le transfert d'énergie et le mouvement des contaminants par l'application d'un ensemble de règles permettant d'obtenir une approximation des habitudes alimentaires de certains animaux (Figure 1). La production primaire dépend des charges en phosphore du modèle, et la charge en éléments nutritifs limite ainsi la productivité globale de l'écosystème simulé du lac Érié.

Les principales hypothèses formulées dans l'élaboration du prototype figurent à l'Annexe A.

Utilisation des modèles existants pour la mise au point du prototype

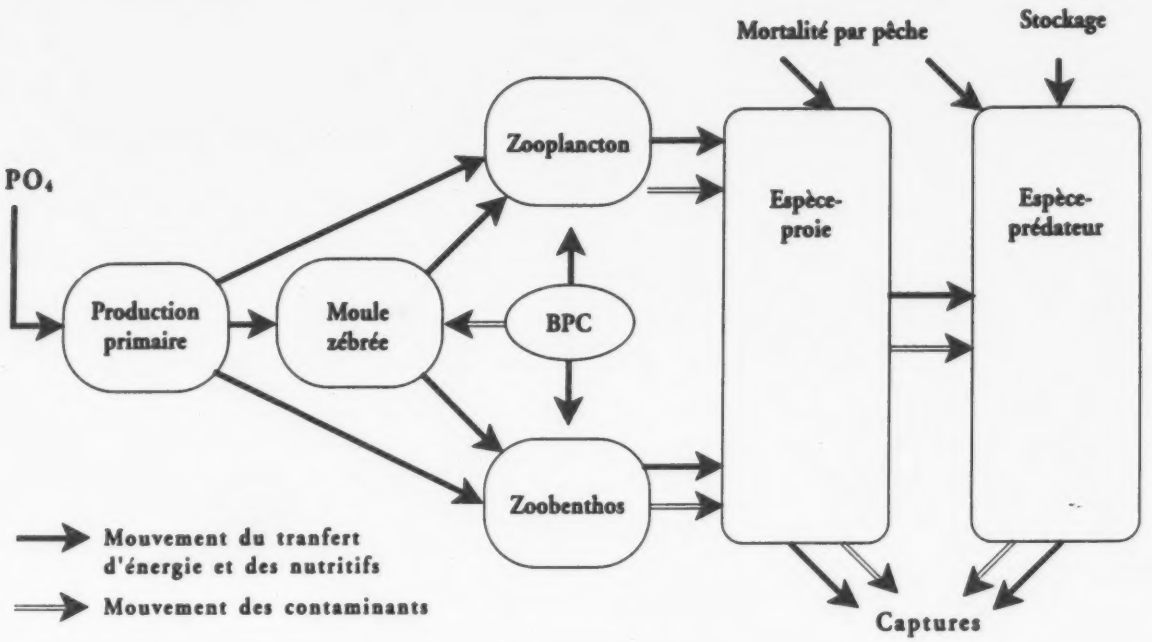
Le prototype du lac Érié comprend les éléments des modèles existants qui suivent :

- **Sustainability of Intensively Managed Fisheries (SIMPLE) Model, Commission des pêcheries des Grands Lacs (Koonce et Jones, 1994)**. Ce modèle a fourni la structure de base pour la portée du prototype, ainsi que certaines valeurs des paramètres.

- **Lake Erie Fish Community Model (Koonce et al. 1983; Locci-Hernandez 1988), parrainé par la Commission des pêcheries des Grands Lacs et l'Ohio Sea Grant Program**. Cet ensemble de modèles a fourni une structure et certaines valeurs de paramètres.

- **Individual Based Models of Contaminant Bioaccumulation (Madenjian et al. 1993)**. Ce modèle a fourni l'approche de modélisation et les valeurs de paramètres pour l'intégration des contaminants au prototype.

Figure 1.
Modèle écologique pour le lac Érié : transfert d'énergie et du mouvement des nutritifs et des contaminants



Utilisation du prototype du lac Érié

170

Le Groupe de travail, lors de la mise au point de son modèle, a mis à profit les travaux antérieurs de messieurs Koonce et Locci de la Case Western Reserve University. Le prototype ne se veut pas, à l'étape actuelle, un outil de gestion. Il est plutôt un modèle de démonstration heuristique[1] nécessitant de longues opérations d'étalonnage et d'essais. Les conseils formulés par le groupe cadre de consultation ont permis de faire avancer la mise au point du prototype pour en faire un outil presque utilisable; toutefois, il reste beaucoup à faire pour obtenir une représentation réaliste de l'écosystème du lac Érié.

Il est néanmoins possible de montrer comment le prototype pourrait être utilisé lors de discussions sur certaines interactions importantes de l'écosystème, dans le lac Érié. Le prototype a été conçu pour permettre l'examen d'hypothèses ou de mesures de gestion en fonction des tendances enregistrées antérieurement. La simulation s'étend de 1960 à 1995. Les deux exemples d'application suivants illustrent la manière dont le modèle peut être utilisé :

1) Un gestionnaire responsable de la qualité de l'eau peut examiner les répercussions possibles d'une réduction de 25 % des cibles de charges en phosphore pour le lac Érié sur les niveaux de capture de poisson, les tendances dans l'abondance et d'autres mesures, puis comparer ces résultats à des simulations des changements ayant effectivement marqué la charge en phosphore dans le passé.

2) Un gestionnaire du poisson peut déterminer la mesure dans laquelle il faudra réduire les captures pour protéger des stocks de poisson importants en cas d'une baisse de la productivité du lac attribuable aux effets combinés de diminutions de la charge en éléments nutritifs et d'une invasion de la grande lamproie marine. Le gestionnaire peut examiner l'ampleur des rajustements qu'il pourrait devoir apporter à la mortalité par pêche.

Grâce à des scénarios établis de façon similaire, l'utilisateur peut étudier les interactions des diverses composantes du modèle :

- l'interaction du changement de la charge en phosphore et des captures de poisson;
- les effets d'une invasion de la moule zébrée sur les captures par une modification du transfert d'énergie dans le réseau trophique primaire;
- les effets d'un changement de la productivité et du transfert d'énergie sur les modèles de bioaccumulation des contaminants.

L'examen de ces interactions constitue un exercice heuristique. En se servant du modèle pour suivre les interactions complexes, l'utilisateur peut vérifier différentes hypothèses ou voir s'il y a conformité avec d'autres observations ou d'autres modèles. Ce jeu de simulation pourrait être la principale application d'un modèle de l'écosystème du lac Érié, ce dont le prototype donne un exemple.

Le prototype a été mis à l'essai en avril 1995 lorsque le Groupe de travail a organisé un atelier interactif de démonstration à l'intention des gestionnaires, des scientifiques et des chercheurs. On a formulé des recommandations pour une série de prochaines étapes pour la mise au point du modèle; ces recommandations figurent dans le présent rapport.

1 Méthode qui, souvent par approximations successives, essais et erreurs corrigées, tend, petit à petit, à obtenir la solution d'un problème.

4.3 PREMIÈRES OBSERVATIONS

Pour l'élaboration, à partir de ce projet, d'un modèle écosystémique pour le lac Érié, suivi d'un examen du prototype par les gestionnaires, les scientifiques et les chercheurs du lac Érié, le Groupe de travail propose un certain nombre de points clés sur lesquels la CMI pourra se pencher. **Tout d'abord, le modèle est uniquement un prototype et il devra faire l'objet d'autres essais, épreuves, démonstrations et expériences.** Toutefois, une base solide a été établie à l'égard d'un processus à long terme d'exploitation durable en vue de la modélisation de l'écosystème du lac Érié.

À cette étape préliminaire de son développement, le modèle est centré sur le maintien de la productivité du poisson comme composante de l'écosystème; il n'est pas, en tant que tel, vraiment représentatif de l'écosystème du lac Érié. On envisage diverses approches afin de s'assurer que le modèle reflète le plus fidèlement possible l'écosystème du lac. Une fois confirmés les objectifs concernant le plan d'aménagement écosystémique du lac Érié, on pourra revoir ces approches dans le contexte du modèle.

Le modèle a été conçu de manière à fournir de l'information fondée sur une approche «panlacustre». Une nette tendance se dessine vers la décomposition du modèle en trois composantes du bassin, y compris les effets près du rivage et au large. Il faudra évaluer les avantages que présente cette approche.

Les utilisateurs pourraient tirer avantage de ce modèle si celui-ci se concentre sur les niveaux trophiques inférieurs, dans des unités inférieures du bassin. Par exemple, il faut avoir un meilleur lien entre les charges en phosphore et la production de phytoplancton et de zooplancton. Ces sous-composantes, une fois au point, pourraient être reliées au modèle panlacustre. Cet exercice ne devrait pas se dérouler en même temps que l'activité principale de mise au point. Il est important que le processus itératif de correction se déroule dans le modèle principal pour que l'on puisse connaître les erreurs avant d'entreprendre d'autres exercices de modélisation visant la partie inférieure du bassin.

Il faut soumettre le modèle à un certain nombre d'essais hypothétiques pour en vérifier la représentativité. Les examinateurs et les participants du processus du Groupe de travail se sont dits vivement intéressés à mettre le modèle à l'essai afin de vérifier certaines hypothèses. Le Groupe de travail appuie fermement ce processus.

Le projet de modélisation écosystémique pour le lac Érié pourrait fournir un aperçu précieux des défis que doivent relever les gestionnaires de cet écosystème. Pour que le modèle soit utile, ses utilisateurs doivent être sûrs qu'il est tenu à jour et que son contenu est corrigé au fur et à mesure de l'apport de nouveaux renseignements. En outre, le modèle fournit une base pour l'échange de renseignements et de connaissances et pour l'élaboration d'une politique commune. Enfin, il offre un autre moyen pour la CMI d'évaluer les progrès réalisés par les Parties dans le respect des engagements de l'Accord relatif à la qualité de l'eau dans les Grands Lacs.

Les gestionnaires et les modélisateurs se sont dits vivement intéressés à poursuivre leur participation à la mise au point du modèle. Il est important d'établir des buts communs parmi les usagers de ce modèle. À ce jour, 50 conseillers clés ont aidé, par leurs conseils et leur participation, le groupe de travail dans la mise au point de ce prototype.

4.4 RECOMMANDATIONS

Le Groupe de travail sur le lac Érié conclut que le modèle peut devenir un outil précieux pour les gestionnaires, les scientifiques et les chercheurs du lac Érié, et qu'il pourrait être adapté pour d'autres Grands Lacs.

Cet exercice de modélisation témoigne du leadership considérable dont la Commission a fait preuve dans le développement d'une meilleure compréhension des changements qui touchent l'écosystème du lac Érié. En entreprenant l'élaboration d'un modèle écosystémique, on peut mieux comprendre les changements, voire les prévoir, et les gestionnaires peuvent ainsi aller de l'avant avec une plus grande confiance.

Par la création d'un Groupe de travail spécial sur le lac Érié, la CMI a indiqué que le niveau de priorité accordé au lac Érié est très élevé. En amorçant l'élaboration de ce prototype, la CMI facilite l'avancement. Nous proposons que la CMI continue à exercer ce leadership.

Le Groupe de travail recommande que la CMI continue à déployer des efforts de mise au point du modèle durant le prochain cycle biennal.

172 Le Groupe de travail a préparé une série de prochaines étapes qu'il a soumises à l'attention de la CMI. Ces étapes découlent des résultats de l'atelier tenu en avril 1995 et sont décrites ci-après.

Étape 1 : Adopter une approche de «création d'un potentiel» pour l'élaboration du modèle

Plusieurs groupes d'utilisateurs manifestent un intérêt certain pour le modèle. Ces derniers comprennent les organismes gouvernementaux, le milieu universitaire, l'industrie de la pêche, les groupes d'intérêt public ainsi que des membres du grand public. Pour pouvoir faire du modèle un outil qui soit, à long terme, utilisable et durable pour les gestionnaires, la CMI devrait envisager la possibilité de s'adjoindre des partenaires qui prendraient part à la mise au point du modèle. On pourrait ainsi s'assurer du maintien d'une approche intégrée faisant appel à la collaboration tout en élargissant l'éventail des ressources financières disponibles. Pour assurer le maintien du style de gestion, nous recommandons que la CMI conserve son rôle de partenaire principal.

Étape 2 : Communiquer les capacités du modèle

On pourrait aider les utilisateurs et les partenaires à mieux comprendre le fondement du modèle et le type de données utilisées en publiant un guide d'utilisation du Modèle écosystémique du lac Érié qui comprendrait un modèle de registre où seraient consignés les résultats des essais. Pour ce qui est de la détermination des principales caractéristiques des autres modèles, nous avons constaté que, bien que les modèles puissent appartenir au domaine public, peu d'entre eux sont décrits et documentés de manière assez complète pour que n'importe quel utilisateur puisse en faire l'essai.

Étape 3 : Entreprendre un processus itératif de correction

Pour pouvoir déceler les lacunes du prototype, il faut nécessairement commencer par adopter un processus itératif de correction du modèle. Le prototype doit être rajusté et amélioré par un processus d'examen et de mise à l'essai des données. On demanderait aux membres du groupe cadre de consultation ainsi qu'à d'autres experts de prendre part à l'exercice. On a déjà cerné des domaines susceptibles d'être examinés et étudiées, et présentant même la possibilité de découvertes intéressantes. Depuis que ce modèle a vu le jour, en avril 1995, plusieurs modélisateurs et gestionnaires l'ont utilisé pour vérifier certaines hypothèses. On coordonnera ces efforts afin de s'assurer que les résultats obtenus soient consignés et que des améliorations soient apportées.

Étape 4 : Consulter les utilisateurs

Le modèle a trois applications possibles : servir d'outil de gestion, aider à l'établissement des priorités en matière de recherche et favoriser la compréhension des liens existant dans l'écosystème du lac Érié. On pourrait fixer des objectifs d'utilisation par étapes une utilisation à court, à moyen et à long terme fondés sur les attentes et les besoins des partenaires.

Il est important de préciser le but et les objectifs du modèle auprès de ses utilisateurs éventuels. Il serait souhaitable que les principaux groupes d'utilisateurs éventuels du modèle en comprennent bien le ou les buts (et qu'il y ait consensus à cet égard). La consultation des gestionnaires et des experts techniques amorcée à la première étape de mise au point du modèle devrait se poursuivre au fur et à mesure de son évolution (à savoir, au moyen d'ateliers et de réunions avec le groupe cadre de consultation, des experts en communications et des experts techniques).

Étape 5 : Mettre à l'essai le principe des trois bassins

Au terme d'épreuves, d'essais et de corrections du modèle et une fois que de nouvelles données y auront été ajoutées, conformément à l'Étape 3, (de manière que les lacunes aient été comblées et les hypothèses vérifiées), il sera important de perfectionner d'avantage le modèle de manière à répartir sa vision du lac en trois bassins (est, centre et ouest), et à discerner les répercussions près du rivage et au large. Les courants migratoires des stocks de poissons entre les bassins devraient être démontrés, et l'on devra connaître le détail des changements dans les éléments nutritifs et les contaminants entre les bassins. Des variations saisonnières à l'intérieur des bassins, conjuguées à une bonne compréhension des effets de la thermocline sur la gestion de la productivité et des concentrations de phosphore seraient des ajouts importants au modèle.

4.5 RÉSUMÉ

Le Groupe de travail conclut que cette approche de modélisation offre un potentiel considérable et peut ainsi assurer une aide durable aux gestionnaires du lac Érié dans la prise de décisions appropriées en matière de politiques et de gestion. En outre, le modèle peut déterminer les répercussions des agents stressants sur le lac Érié, celles des pêches en particulier. Grâce au processus de mise à l'essai et aux résultats qui en découlent, la structure du modèle permet la compréhension des effets des agents stressants et des interactions entre ceux-ci, ainsi que des liens entre les agents de l'écosystème du lac. Le défi, pour nous, consiste à veiller à ce que l'exercice de modélisation, actuellement sous forme de prototype, se poursuive au-delà d'une première itération grossière. La prochaine étape devrait consister à faire du modèle un outil utilisable.

Le Groupe de travail a décrit un processus qui, s'il est suivi, assurera la poursuite du projet. Avec la collaboration de conseillers et l'adjonction de quelques autres «chefs de file», nous pourrons mieux utiliser les ressources limitées. Le Conseil des gestionnaires de la recherche des Grands Lacs a déjà défini cette approche comme étant le défi des cinq prochaines années. Le Groupe de travail appuie cette approche. La mise au point du Projet de modélisation écologique du lac Érié représente un exercice constructif pour le Groupe de travail. Nous tenons à témoigner notre reconnaissance à tous les conseillers qui ont contribué à la réussite de nos efforts.

4.6 RAPPORTS DES EXPERTS-CONSEILS AU GROUPE DE TRAVAIL

Quatre rapports d'information détaillés ont été préparés dans le cadre de contrats octroyés par le Groupe de travail du lac Érié. On peut obtenir ces documents sur demande auprès du bureau régional des Grands Lacs de la CMI. Ce sont les suivants :

A) Lake Erie Modelling Pre-Workshop, Facilitators' Report (LURA Group), le 15 juillet 1994

B) Initiative 1 Report (LURA Group)

C) Initiative 2 Report (J. Koonce)

D) Lake Erie Prototype Model Workshop, Summary Report (LURA Group), le 3 mai 1995

4.7 BIBLIOGRAPHIE

Koonce, J.F., D.B. Jester, B.A. Henderson, R.W. Hatch and M.L. Jones. 1983. Quota management of Lake Erie Fisheries. Spec. Publ. 83-1. Great Lakes Fishery Commission, Ann Arbor, Michigan. 39 pp.

Koonce, J.F. and M.L. Jones. 1994. Sustainability of the Intensively Managed Fisheries of Lake Michigan and Lake Ontario. Final Report of the SIMPLE Task Group. Board of Technical Experts. Great Lakes Fishery Commission Project Completion Report. Ann Arbor, Michigan. 62 pp.

Locci-Hernandez, A.B. 1988. Comparative study of the response of simulated temperature and tropical fish community to fish exploration and environmental variability. Ph.D. Dissertation. Case Western Reserve Univ. Cleveland, Ohio. 210 pp.

Madenjian, C.P., S.R. Carpenter, G.W. Eck and M.A. Miller. 1993. Accumulation of PCBs by lake trout (*Salvelinus namaycush*): an individual-based model approach. Can. J. Fish. Aqua. Sci., 50: 97-109.

U. S. EPA. 1989. *Green Bay Mass Balance Study Plan: A Strategy for Tracking Toxics in the Bay of Green Bay, Lake Michigan* (working edition). U.S. Environmental Protection Agency, Great Lakes National Program Office, Chicago, Illinois.

4.8 MEMBRES DU GROUP DE TRAVAIL DU LAC ÉRIÉ

Canada

Dr. John M. Cooley
Laboratoire des Grands Lacs
pour les pêches et les sciences aquatiques
Ministère des Pêches et des Océans
Centre canadien des eaux intérieures
C.P. 5050, 867, chemin Lakeshore
Burlington (Ont,) L7R 4A6

Dr. Douglas Dodge
Direction des Grands Lacs
Ministère des Richesses naturelles de l'Ontario
C.P. 5000
10401, rue Dufferin
Maple (Ont.) L6A 1S9

Dr. G. Douglas Haffner
Great Lakes Institute for Environmental Research
304, Sunset
Windsor (Ont.) N9B 3A9

Mr. Doug McTavish, Director
Bureau régional des Grands Lacs
Commission mixte internationale
100, av. Ouellette, huitième étage
Windsor (Ont.) N9A 6T3

Dr. Harvey Shear
Conseiller scientifique régional
Environment Canada
C.P. 5050, 867, chemin Lakeshore
Burlington (Ont.) L7R 4A6

Dr. James W.S. Young
Senes Consultants Limited
121, Granton Drive, Unit 12
Richmond Hill, (Ont.) L4B 3N4

États-Unis

Dr. Jeffrey M. Reutter, Director
Ohio Sea Grant College Program
Ohio State University
Research Centre
1314 Kinnear Road, Room 1541
Columbus, Ohio 43212

Mr. James D. Rozakis
Assistant Regional Director
Meadville Regional Office
Pennsylvania Dept. of Environmental Resources
1012 Water Street
Meadville, Pennsylvania 16335

Mr. Nelson Thomas
Environmental Research Laboratory - Duluth
U.S. EPA
6201 Congdon Blvd.
Duluth, Minnesota 55804

Section Liaisons

Bruce L. Bandurski
Ecomanagement Advisor
International Joint Commission
1250 23rd Street N.W., Suite 100
Washington, D.C. 20440

Ted Bailey
Sr. Environmental Officer
International Joint Commission
100 Metcalfe Street, 18th Floor
Ottawa, Ontario K1P 5M1

Personnel de soutien

Douglas W. Alley
Agent des sciences physiques
Commission mixte internationale
100, av. Ouellette, huitième étage
Windsor (Ont.) N9A 6T3

John F. McDonald
Ingénieur principal
Commission mixte internationale
100, av. Ouellette, huitième étage
Windsor (Ont.) N9A 6T3

ANNEXE A : HYPOTHÈSES CLÉS POUR LA MISE AU POINT D'UN PROTOTYPE

Détermination d'échelles spatio-temporelles

Un élément majeur de simplification du modèle réside dans le choix d'échelles spatio-temporelles pour la représentation des interactions dans l'écosystème du lac Érié. Le modèle suppose un groupement spatial panlacustre et simule les changements dans l'écosystème à intervalles d'au moins un an. Une telle hypothèse signifie que ce modèle colle de très près à la réalité pour ce qui est des populations de poissons et qu'il devient graduellement moins pertinent dans le cas de la moule zébrée, du zoobenthos et du zooplancton, dont les populations varient beaucoup selon la saison. La dynamique du zooplancton et du zoobenthos se résume donc à des approximations stationnaires de l'abondance et de la productivité annuelles moyennes. La moule zébrée et la moule Couagga sont traitées comme un seul et même type de moules avec les mêmes valeurs dynamiques annuelles de la biomasse totale. On suppose que la migration du poisson correspond à la moyenne des gradients panlacustres au chapitre de la productivité, mais l'hétérogénéité spatiale des populations de poissons est garantie par la prise en considération explicite du chevauchement d'habitats entre les espèces de poissons et les éléments des niveaux trophiques inférieurs de l'écosystème.

La productivité primaire liée à la charge en phosphore

Le phytoplancton et d'autres producteurs primaires ne sont pas représentés de manière explicite dans le modèle. Celui-ci suppose plutôt que la charge en phosphore détermine le niveau de productivité primaire pour l'ensemble du lac. Ainsi, la productivité du zooplancton et celle du zoobenthos dépendent de la charge en phosphore dans le cycle de la productivité primaire.

Les contaminants se propagent par la chaîne alimentaire

Le prototype examine quatre contaminants : les BPC, le DDT, le mercure et l'atrazine. Les charges en contaminants et les bilans massiques ne sont pas représentés de manière explicite. Le modèle suppose un ensemble de données d'entrée constitué par les concentrations annuelles moyennes de chaque contaminant dans l'eau du lac. La charge corporelle en contaminants pour les organismes des niveaux trophiques inférieurs est prévue à partir d'estimations des facteurs de bioaccumulation, et la charge corporelle en contaminants pour tous les autres individus dépend du bilan annuel d'assimilation (par ingestion et absorption) et d'excrétion des contaminants.

La bioénergétique de la croissance et de la reproduction

Selon les attentes annualisées théoriques des modèles bioénergétiques, la croissance des poissons dépend de leur alimentation. Exception faite de la truite arc-en-ciel et du touladi, le niveau de recrutement de toutes les espèces de poissons dépend de la reproduction naturelle des individus qui les composent. Les prévisions de reproduction dépendent des coefficients de fécondité et de fertilité, lesquels varient selon l'espèce et l'âge. Les limites quant à l'habitat sont imposées par des coefficients touchant la mortalité des oeufs.

Interactions fonctionnelles entre prédateurs et proies

L'alimentation pour les poissons de tous les groupes d'âge dépend d'un ensemble commun de règles plutôt que d'un ensemble prédéfini de rapports à cet égard. On suppose que les prédateurs recherchent un habitat d'un volume donné où ils trouveront leurs proies au hasard. Les probabilités de capture d'une proie dépendent du ratio proie - prédateur ainsi que du coefficient de chevauchement des habitats.

Chapitre Cinq :

GROUPE DE TRAVAIL SUR LES INDICATEURS POUR L'ÉVALUATION

5.0 GROUPE DE TRAVAIL SUR LES INDICATEURS POUR L'ÉVALUATION 179

5.1 LIVRE BLANC : INDICATEURS POUR ÉVALUER LA MISE EN APPLICATION DE L'ACCORD 179

5.2 MEMBRES DU GROUPE DE TRAVAIL SUR LES INDICATEURS POUR L'ÉVALUATION 180

5.0 GROUPE DE TRAVAIL SUR LES INDICATEURS POUR L'ÉVALUATION

5.1 LIVRE BLANC : INDICATEURS POUR L'ÉVALUATION DE LA MISE EN APPLICATION DE L'ACCORD

En application de l'Accord relatif à la qualité de l'eau dans les Grands lacs, il est dans l'intention du gouvernement des États-Unis d'Amérique et du gouvernement du Canada «de rétablir et de conserver l'intégrité chimique, physique et biologique des eaux de l'écosystème du bassin des Grands lacs». Pendant plus de deux décennies, plusieurs programmes et mesures ont été entrepris à cette fin.

En vertu de l'article VII de l'Accord, la Commission mixte internationale est chargée d'évaluer la mise en application de l'Accord et d'assurer la prestation de conseils aux gouvernements. Pour pouvoir exécuter son mandat, la Commission doit disposer de données et d'informations. Pour faciliter l'examen de ces exigences et pour élaborer un cadre nécessaire à l'évaluation et à la prestation de conseils, la Commission a créé, en 1993, un Groupe de travail sur les indicateurs pour l'évaluation.

Le groupe de travail a tenu une session sur la définition des questions (2-3 décembre 1993) et un atelier sur les indicateurs (5-6 octobre 1994) pour se familiariser avec les activités pertinentes et pour déterminer des indicateurs précis visant à évaluer la mise en application de l'Accord. Il a préparé par la suite une première version d'un Livre blanc, qui a été distribué (mai 1995), à des fins d'examen, aux membres des Comités de la Commission et du Conseil, aux participants de l'atelier et à d'autres personnes sélectionnées. D'après les commentaires reçus, le Groupe de travail a révisé sa première version et a rédigé un rapport final contenant des résultats, des conclusions et des recommandations. Le rapport a été soumis à la Commission sous forme de document distinct auquel se reportera le lecteur.

Pour obtenir un exemplaire du rapport, contacter la Commission mixte internationale, 100 avenue Ouellette - 8e étage, Windsor (Ontario) N9A 6T3 ou P.O. Box 32869, Détroit, Michigan 48232-2869.

5.2 MEMBRES DU GROUPE DE TRAVAIL SUR LES INDICATEURS POUR L'ÉVALUATION

Mr. Doug McTavish, Chairman
International Joint Commission
Great Lakes Regional Office
100 Ouellette Ave., 8th Floor
Windsor, ON N9A 6T3

Mr. Bruce Bandurski
U.S. Section
1250 23rd St. N.W., Suite 100
Washington, D.C. 20440

Dr. Martin P. Bratzel, Jr. Secretary
International Joint Commission
100 Ouellette Ave., 8th Fl.
Windsor, Ontario N9A 6T3

Dr. John M. Cooley
Laboratoire des Grands Lacs pour les pêches et les sciences aquatiques
Ministère des Pêches et des Océans, CCEI
C.P. 5050
867, chemin Lakeshore
Burlington, Ontario L7R 4A6

Dr. Harold (Jack) Day
College of
Environmental Science
University of Wisconsin
-Green Bay
2420 Nicolet Drive
Green Bay, Wisconsin 54311-7001

Dr. Ian Douglas Rutherford
Directeur général
Direction de l'État de l'environnement
Environnement Canada
Place Vincent Massey
351, bd. St-Joseph
Hull, Québec K1A 0H3

Dr. E.T. Smith
U.S. Geological Survey
407 National Center
Reston, VA 22092

M. Geoff Thornburn
Section canadienne
Commission mixte internationale
100 Metcalfe, 18e étage
Ottawa, Ontario K1P 5M1

Membre associé

Mr. Frank Anscombe
Policy Analyst
U.S. EPA-GLNPO
77 West Jackson Street (GS-9J)
Chicago, Illinois 60604

Chapitre Six :

ACTIVITÉS D'EXAMEN DE L'ANNEXE 2

6.0 ACTIVITÉS D'EXAMEN DE L'ANNEXE 2 183

6.1 PLANS D'ACTION CORRECTRICE ET PLANS D'AMÉNAGEMENT PANLACUSTRE 183
6.1.1 Considérations socio-économiques relatives aux sédiments contaminés et autres préoccupations environnementales dans les Plans d'action correctrice et les plans d'aménagement panlacustre 187
6.1.2 Questions touchant l'examen de la désignation des polluants critiques 187

6.2 EXAMEN DES PLANS D'AMÉNAGEMENT PANLACUSTRE 188
6.2.1 Objectifs 188
Questions touchant plus précisément l'examen de la première étape d'un plan d'aménagement panlacustre 188
Questions touchant plus précisément l'examen de la deuxième étape d'un plan d'aménagement panlacustre 188

6.3 BIBLIOGRAPHIE 189

6.4 MEMBRES DU COMITÉ CONSULTATIF DE L'ANNEXE 2 190

Figure
1. Situation des Plans d'action correctrice soumis à la Commission mixte internationale pour les 42 secteurs préoccupants dans le bassin des Grands Lacs 184

6.0 ACTIVITÉS D'EXAMEN DE L'ANNEXE 2

«Une économie de bouts de chandelle ne mérite pas d'être appelée stratégie»

— Tom Peters

6.1 PLANS D'ACTION CORRECTRICE ET PLANS D'AMÉNAGEMENT PANLACUSTRE

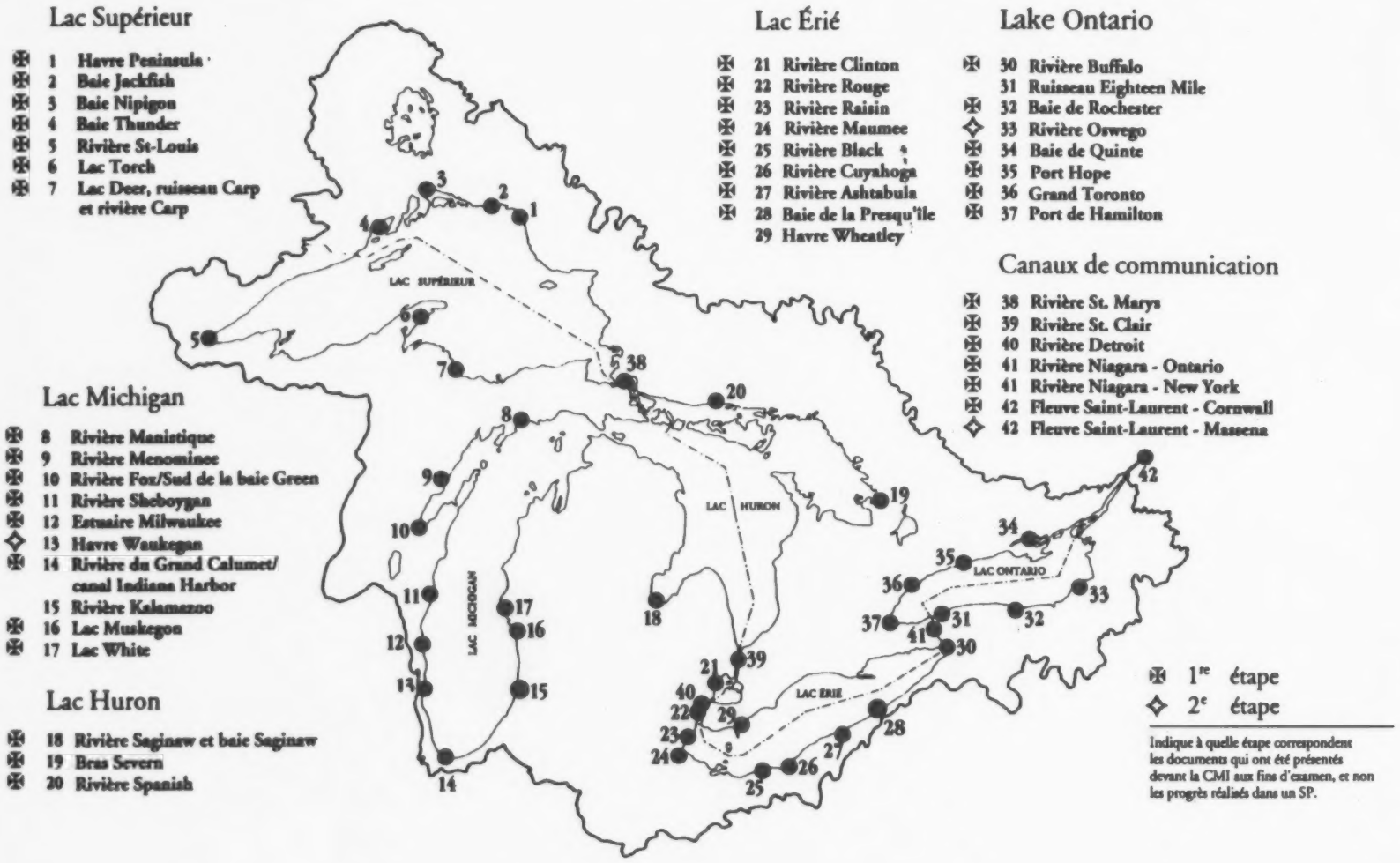
En vertu de l'**Accord relatif à la qualité de l'eau dans les Grands Lacs** (ARQGL), tel que modifié par le Protocole signé en 1987, la **Commission mixte internationale** (la Commission ou CMI) doit procéder à l'examen des **Plans d'action correctrice** (PAC) pour chaque **secteur préoccupant** (SP). Lors de ces examens, la Commission a établi que les instances ont fait un travail remarquable dans la collecte de renseignements à jour sur l'environnement et la conduite d'études visant à recueillir d'autres données nécessaires à la description des problèmes environnementaux dans les documents de la première étape.

Le port de Collingwood, qui était auparavant un secteur préoccupant, a donné lieu à toutes les étapes du processus du PAC et, depuis, a été retiré de la liste des secteurs préoccupants par le Canada. Il reste 42 secteurs préoccupants pour lesquels la Commission n'a pas encore reçu trois Plans d'action correctrices (PAC) de première étape à des fins d'examen, deux de ces PAC étant des plans distincts pour la rivière Niagara et le fleuve Saint-Laurent préparés par le Canada et les États-Unis. L'information sur la situation des PAC présentés devant la Commission apparaît à la figure 1.

Les examens de la Commission ont également fait ressortir plusieurs points intéressants. Des tentatives préliminaires de caractérisation et d'assainissement des sédiments contaminés ont confirmé que ceux-ci ne représentent pas seulement un défi de taille en ce qui a trait à l'assainissement, mais qu'ils sont aussi *la* cause de la dégradation des utilisations bénéfiques du point de vue des PAC et des **plans d'aménagement panlacustre**. Dans les deux pays, on déploie des efforts considérables pour estimer les quantités de ces sédiments et pour sélectionner les options d'assainissement ou en faire la démonstration. Au Canada, le **Fonds d'assainissement 2000 des Grands Lacs** a présenté des démonstrations de 19 techniques novatrices permettant l'extraction, la manutention et le traitement en toute sécurité de sédiments contaminés. Aux États-Unis, l'**Assessment and Remediation of Contaminated Sediments** (ARCS) Program a procédé à l'essai à petite échelle de neuf techniques de traitement, dont quatre ont été retenues pour une démonstration dans le cadre de projets pilotes. Ces démonstrations ont eu lieu dans les SP des rivières Ashtabula, Buffalo et Sheboygan, de la rivière Grand Calumet et du canal Indiana Harbor, de la rivière Saginaw et de la baie Saginaw (USEPA, 1994).

Les préoccupations relatives à la santé humaine dans le bassin des Grands Lacs sont nettement liées aux sédiments contaminés, en raison de leurs répercussions sur le degré de contamination du poisson. Dans les deux pays, on cherche à cerner avec davantage de précision leur impact sur la santé humaine dans les SP. Toutefois, bon nombre d'équipes de Plan d'action correctrice ne disposent toujours pas de l'expertise nécessaire pour amorcer l'étude des préoccupations relatives à la santé humaine dans leur SP. La Commission n'a pas manqué de souligner ce problème dans le *Septième rapport biennal sur la qualité de l'eau*

Figure 1.
Situation des Plans d'action correctrice soumis à la Commission mixte internationale pour les 42 secteurs préoccupants dans le bassin des Grands Lacs (au 30 juin 1995).



dans les Grands Lacs (CMI, 1994). Bien que la recherche sur la santé humaine dans le bassin des Grands Lacs soit en grande partie axée sur la consommation de poisson, les nouvelles études en cours à l'heure actuelle portant sur d'autres modes d'exposition fourniront davantage de données qui seront intégrées dans les documents des PAC. Comme une grande partie de ces données ne sera disponible qu'une fois achevée la préparation des documents de la 2e étape ou même ceux de la 3e étape, il faudra s'assurer qu'elles servent de complément aux PAC actuels, et non pas qu'elles constituent une entrave à un assainissement en temps opportun.

Pour présenter le problème dans toute sa complexité et pour faire rapport sur l'état des travaux au cours de l'application de mesures correctrices, bon nombre d'instances procèdent à une certaine forme de mise à jour de leurs documents relatifs aux PAC. Ces mises à jour sont particulièrement utiles comme sources d'information pour le public concernant des sujets sur lesquels il ne circulait que peu d'information auparavant, comme les options relatives à l'assainissement des sédiments contaminés et les répercussions des contaminants sur la santé humaine.

Le processus du Plan d'action correctrice offre aux collectivités locales une occasion unique d'amorcer des interventions grâce à l'appui et au financement des gouvernements de leur pays, des États ou de la province, en vue de l'élaboration des programmes et des initiatives qui apporteront une solution aux problèmes actuels tout en permettant à chaque collectivité de réaliser les buts qu'elle s'est fixée pour l'avenir. Toutefois, jusqu'à présent, seul un nombre réduit de SP ont profité de cette occasion unique. Le port de Collingwood est un excellent exemple de collectivité qui en a tiré pleinement avantage.

Les examens des PAC de 2e et de 3e étapes du port de Collingwood, qui ont pris fin respectivement le 12 août et le 23 septembre 1994, ont permis à la Commission de dégager plusieurs résultats qui peuvent revêtir une certaine importance pour les SP du bassin des Grands Lacs. À cet égard, la collaboration entre l'équipe du PAC et le **Comité de consultation publique** (CCP) en vue de définir les objectifs d'utilisation est remarquable, car elle a permis à la collectivité de faire front commun avec le CCP dans l'atteinte de ses objectifs. L'équipe du PAC et le CCP ont recueilli des commentaires du grand public avant de tenter de dégager un consensus sur les mesures correctrices souhaitables. On a également intégré à la stratégie de mise en oeuvre pour le port de Collingwood des activités de prévention de la pollution, notamment des efforts relatifs à la conservation de l'eau axés sur le grand public s'ajoutant aux objectifs traditionnels concernant les sources de pollution industrielles et municipales (*Collingwood Harbour Action Team*, 1993). L'incitation à la conservation de l'eau au port de Collingwood illustre de façon remarquable l'application rentable d'une mesure correctrice. Selon l'équipe, la promotion de la conservation de l'eau favoriserait la réduction des charges en polluants phosphorés provenant de l'usine d'épuration d'eaux usées à un coût nettement inférieur à celui de la modernisation de l'usine. Étant donné que l'on envisage de résoudre des problèmes environnementaux coûteux, comme celui des sédiments contaminés, dans certains secteurs préoccupants complexes tels que le sud de la baie Green et la rivière Fox, et que l'on commence à déployer des efforts pour y parvenir, les considérations d'ordre socio-économique influeront grandement sur la vitesse d'exécution et l'ampleur des travaux d'assainissement. Ces considérations représentent également un facteur essentiel dans le processus d'élimination virtuelle de certains polluants critiques dans le cadre des plans d'aménagement panlacustre.

Bien que la rapidité avec laquelle le gouvernement et le secteur privé ont apporté leur soutien (financier, entre autres) au projet du port de Collingwood témoigne du travail acharné et du dévouement des nombreux intervenants, leur expérience fait ressortir les principaux obstacles à prévoir dans les secteurs préoccupants plus complexes, p. ex., la rivière du Grand Calumet et le canal Indiana Harbor ou encore le sud de la baie Green et la rivière Fox. Parmi les défis à relever, il faudra trouver une façon de consulter une portion importante du public visé, d'obtenir son appui dans les activités d'assainissement, de rassembler les fonds nécessaires aux efforts d'assainissement et, le point le plus important peut-être, de rentabiliser l'assainissement. Afin de placer l'ampleur des efforts nécessaires dans une perspective plus juste, il faut tenir compte du fait qu'environ 8 000 m^3 de sédiments contaminés ont été retirés du port de Collingwood, alors que l'on estime entre sept et neuf millions de mètres cubes la quantité de sédiments contenant plus de 0,05 mg/kg de biphényles polychlorés dans la rivière Fox (*Wisconsin Department of Natural Resources*, 1993), et que le coût des mesures correctrices pour le bassin de la rivière est évalué à 1 milliard de dollars (DePinto, 1994). Il est bien évident que des efforts d'assainissement éventuels de cette envergure nécessitent l'élaboration d'un cadre de référence valable pour que l'on puisse effectuer une estimation sur le plan économique des options d'assainissement, de sorte qu'elles puissent être facilement comprises par le public. Fait sans doute capital, en raison de la diminution des ressources financières disponibles pour couvrir le coût de la mise en oeuvre, un cadre de référence du genre doit également prévoir une façon de classer par ordre de priorité les options d'assainissement retenues dans un secteur préoccupant, ou même entre les divers secteurs préoccupants.

Bien que ces enjeux ne soient pas mentionnés expressément dans l'Annexe 2 de l'AQGL, on en a tenu compte dans certains SP et l'on procède actuellement à l'application de mesures préliminaires. Ainsi, dans le secteur préoccupant de l'entrée de la baie Green et de la rivière Fox, on a créé en 1992 la *Fox River Coalition*, composée de représentants de municipalités, de l'industrie, d'usines d'épuration d'eaux usées, du gouvernement des États et d'administrations municipales; cette coalition a pour mandat de concevoir un plan et un échéancier pour la décontamination des sédiments dans l'embouchure de la rivière Fox (*Wisconsin Department of Natural Resources*, 1995). La coalition en est venue à la conclusion que les données sur les sédiments contaminés disponibles pour les secteurs situés en aval étaient beaucoup trop générales pour permettre de déterminer des zones bien précises (aux fins de l'assainissement)... Le groupe soutient que sur les plans technique et économique, il est impossible de planifier l'assainissement de sept millions de mètres cubes de sédiments contaminés sans distinguer de **zones** de priorité. En fait, alors que la coalition affirme qu'il faut déterminer le coût total de l'assainissement de toute la rivière afin de mettre au point un programme de financement, les administrations municipales sont d'avis qu'il faut échelonner les activités d'assainissement une fois que l'on aura fini de recueillir les données de projets individuels et de surveillance, ce qui permettrait ensuite de reconnaître les avantages de chaque projet sur le plan écologique. La coalition a souligné l'importance de classer les efforts par ordre de priorité et de

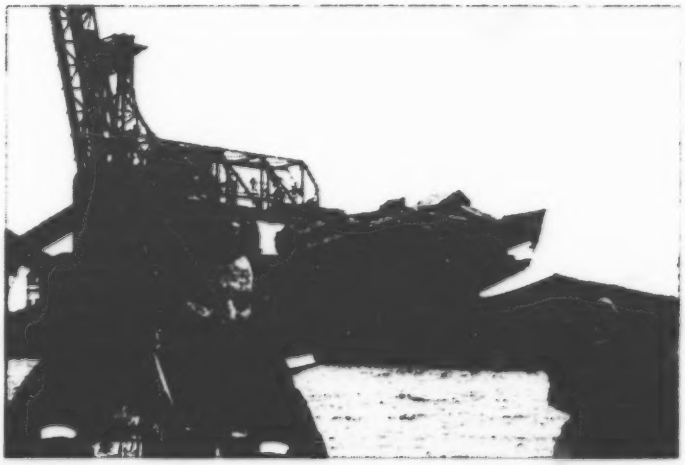
De nombreux individus qui demeurent le long du bassin des Grands Lacs et du fleuve Saint-Laurent, ont donné beaucoup de leur temps en participant aux activitées des plans d'action correctrice.

La Commission tient à reconnaître et à récompenser ces individus pour leurs efforts. Certains secteurs préoccupants, tel celui de la rivière Grand Calumet-Indiana Harbor sont très complexes et nécessitent des approches innovatrices afin de pouvoir les remettre en valeur.

Madame Susan Bayh, commissaire et M. Gordon Walker, commissaire sortant, présentent un certificat à M. Doug Garbutt, maire de la ville de Collingwood, reconnaissant son travail envers la remise en valeur du secteur préoccupant de Collingwood.

M. Ed Houghton, président du Comité public consultatif, recevant un certificat de mérite de la part de Madame Susan Bayh, commissaire. Madame Gail Krantzberg, ancienne coordonatrice du plan d'action correctrice de Collingwood Harbour recevant un certificat du commissaire sortant, M. Gordon Walker

Madame Alice Chamberlin, commissaire et M. Robert Tolpa, de la U.S. Environmental Protection Agency, région V, examinent les conditions du secteur préoccupant de la rivière Grand Calumet-Indiana Harbor.



chercher à amasser des fonds : «Le groupe recommande la création d'un programme d'assainissement des sédiments à la grandeur de l'État. Dans le cadre d'un programme du genre, on établirait la liste des projets par ordre de priorité... Le groupe cherchera à obtenir des fonds des secteurs privé et public au niveau des municipalités, des États et du pays.»

De nombreuses observations de la *Fox River Coalition* sur des facteurs socio-économiques relatifs à l'assainissement des sédiments rejoignent les résultats obtenus par les membres de la Commission à la suite de l'examen d'activités de planification et de mise en oeuvre menées dans le cadre d'efforts liés à différents Plans d'action correctrice et plans d'aménagement panlacustre. Ces résultats, comme on le verra ci-après, s'appliquent aux plans d'aménagement panlacustre tout comme aux Plans d'action correctrice.

6.1.1 Considérations socio-économiques relatives aux sédiments contaminés et autres préoccupations environnementales dans les Plans d'action correctrice et les plans d'aménagement panlacustre

Le financement des Plans d'action correctrice et des plans d'aménagement panlacustre sera toujours limité. Aussi est-il essentiel, lors de la conception de ces plans, de procéder à l'analyse marginale et à l'analyse coût-efficacité du projet. L'analyse marginale contribue à démontrer les avantages liés à toute affectation supplémentaire de ressources visant à restaurer certaines utilisations, et donc à améliorer la qualité de l'eau, ou inversement, les inconvénients découlant de la diminution des ressources consacrées à la lutte contre les effets néfastes sur les utilisations bénéfiques. L'analyse coût-efficacité consiste à déterminer quelles sont les interventions qui amélioreront le plus les utilisations bénéfiques par unité de ressources attribuées, c.-à-d. celles qui permettront d'obtenir le meilleur rendement de l'investissement ou encore qui profiteront le plus au public en regard de l'argent dépensé.

Étant donné que les fonds sont limités et qu'ils le seront sans doute encore davantage, il est également essentiel d'établir des priorités. Les utilisations diminuées ne revêtent pas nécessairement toutes la même importance. Le contrôle de tous les polluants ne présente pas non plus le même degré d'urgence. Le classement des agresseurs environnementaux peut se faire à l'aide de différents critères, à l'instar de la «hiérarchisation» de polluants dans l'élaboration de plans d'aménagement panlacustre.

La gestion des Plans d'action correctrice ou des plans d'aménagement panlacustre est un processus en continuelle évolution. Elle s'inscrit dans une perspective dynamique, variant en fonction des changements qui surviennent dans les facteurs suivants : a) la démographie et la conjoncture économique; b) la demande de certains produits, fluctuant au gré des modes; c) les écosystèmes; d) les conditions atmosphériques d'une année à l'autre, et peut-être les conditions climatiques à long terme. Une stratégie de gestion doit tenir compte des éléments suivants :

- les types de biens et de services produits;
- un ensemble de mesures physiques nécessaires à la production des biens et à la prestation des services demandés dans la société, p. ex., l'amélioration de la qualité de l'eau;
- des stimulants et des systèmes de mise en oeuvre qui incitent les intervenants dans les secteurs public et privé à modifier leur comportement;
- des dispositions institutionnelles prévoyant la répartition des tâches de gestion entre les organisations des secteurs public et privé et reliant ces entités entre elles;
- le financement des coûts administratifs des immobilisations et du fonctionnement, de l'entretien et du remplacement;
- la collecte de données et des programmes de recherche à court terme et à long terme visant à réduire l'incertitude dans les facteurs de gestion.

Questions touchant l'examen des plans d'aménagement panlacustre

En mars 1995, la Commission a organisé un atelier visant à recueillir des commentaires sur la formulation d'une série de questions dont se serviraient les évaluateurs de la Commission pour évaluer la 1re étape et la 2e étape des plans d'aménagement panlacustre ainsi que la désignation des polluants critiques. On trouvera ci-après la liste de ces questions. On est en train d'élaborer les questions appropriées pour l'examen de la 3e et de la 4e étapes des plans d'aménagement panlacustre.

6.1.2 Questions touchant l'examen de la désignation des polluants critiques

1. Est-ce que toutes les substances que l'on sait présentes dans le lac et qui correspondent à l'un ou à plusieurs des critères suivants ont été désignées comme étant des polluants critiques?

   Les substances qui persistent à des concentrations, isolément ou en combinaison synergique ou cumulative, qui nuisent ou sont susceptibles de nuire aux utilisations bénéfiques du fait de :

   a. leur présence dans les eaux lacustres libres;
   b. leur contribution directe ou indirecte à la non-atteinte des objectifs de l'Accord, en raison de la menace avérée qu'elle pose pour la santé humaine, la faune et les formes de vie aquatiques;
   c. leur pouvoir de bioaccumulation ou de bioamplification.

2. En tenant compte des critères énoncés ci-dessus, existe-t-il des preuves indiquant la nécessité de réduire ou d'augmenter le nombre de polluants critiques désignés? Le cas échéant, quelle(s) modification(s) doit-on apporter à la désignation de polluants critiques et quels sont les motifs à l'appui de ces modifications?

3. Les gouvernements des États ou de la province et la Commission mixte internationale ont-ils collaboré à la désignation des polluants critiques? Quelle méthode de consultation du public a-t-on utilisée et quelle a été la réaction de ce dernier?

6.2 EXAMEN DES PLANS D'AMÉNAGEMENT PANLACUSTRE

6.2.1 Objectifs :

S'assurer qu'à toutes les étapes, les **plans d'aménagement panlacustre** procèdent d'une démarche systématique englobant la totalité de l'écosystème afin de restaurer et de protéger les utilisations dans les eaux lacustres libres. Vérifier l'exactitude de la description des activités en cours ou prévues susceptibles d'influer sur l'intégrité chimique, physique et biologique des eaux de chaque lac dans les plans d'aménagement panlacustre respectifs.

Questions touchant plus précisément l'examen de la première étape d'un plan d'aménagement panlacustre :

1 a. Les gouvernements des États ou de la province et la Commission mixte internationale ont-ils collaboré avec les Parties à la désignation des polluants critiques?

b. Êtes-vous d'accord avec le choix des polluants critiques désignés? Dans le cas contraire, sur quelles preuves vous appuyez-vous pour demander la révision de la désignation ou de la caractérisation des polluants critiques?

c. Dans quelle mesure la menace à la santé humaine, à la faune ou à la vie aquatique que représentent les polluants critiques désignés est-elle clairement définie? A-t-on défini la façon dont les polluants critiques ont nui aux utilisations bénéfiques?

2. Le plan prend-il en compte les inquiétudes exprimées par les personnes intéressées ou touchées?

3. A-t-on établi le processus qui permet de tenir compte des lacunes dans les données en rapport avec les menaces et les utilisations diminuées définies? Le plan prévoit-il un mécanisme visant à modifier la classification des polluants critiques actuels si les données le justifient?

4 a. A-t-on répertorié les sources de polluants critiques et quantifié toutes les charges connues? Dans le cas contraire, a-t-on estimé les charges totales de polluants critiques par modélisation ou d'autres méthodes? A-t-on évalué les renseignements disponibles sur les concentrations, les sources et les voies de cheminement des polluants critiques? A-t-on recueilli suffisamment de données sur les charges pour pouvoir amorcer la deuxième étape du plan d'aménagement panlacustre?

b. Existe-t-il des voies de cheminement connues pour lesquelles on ne dispose pas de renseignements exacts sur les charges (p. ex., les émissions atmosphériques provenant de l'extérieur du bassin)?

5. Des agresseurs environnementaux autres que les polluants critiques peuvent entraîner des effets néfastes sur l'intégrité chimique, physique et biologique du lac. Si le document prend en compte des sources de stress autres que les polluants critiques, fait-il état de la façon dont ces agresseurs environnementaux contribuent à la dégradation des utilisations bénéfiques?

6. A-t-on intégré des renseignements socio-économiques pertinents dans le plan d'aménagement panlacustre?

Questions touchant plus précisément l'examen de la deuxième étape d'un plan d'aménagement panlacustre :

1 a. Est-ce que les buts concernant la réduction nécessaire des charges de polluants critiques autres que les substances toxiques rémanentes, s'il y en a, semblent conformes aux objectifs de l'Accord?

b. Dans le cas des polluants critiques considérés comme des substances toxiques rémanentes selon la définition de l'Accord relatif à la qualité de l'eau dans les Grands Lacs, la délimitation des réductions de charge semble-t-elle tendre vers l'élimination virtuelle?

c. Quelles sont les personnes intéressées ou concernées qui ont contribué à fixer les buts relatifs à la réduction des charges aux questions 1a. et 1b.?

2. A-t-on répertorié les voies de cheminement de substances toxiques rémanentes dont la source est située à l'extérieur du bassin?

3. Les activités prévues dans le cadre du plan d'aménagement panlacustre, le cas échéant, pour tenir compte de l'impact des agresseurs environnementaux autres que les polluants critiques semblent-elles avoir été déterminées de façon logique?

6.3 BIBLIOGRAPHIE

Collingwood Harbour Action Team. 1993. *Stage 2 Report: Implementation Annex*. Toronto, Ontario, 45 p.

DePinto, J.V. 1994. *Role of Mass Balance Modeling in Research and Management of Toxic Chemicals in the Great Lakes: The Green Bay Mass Balance Study*. Great Lakes Research Review, 1(1):1-8.

Commission mixte internationale. 1994. *Septième rapport biennal sur la qualité de l'eau dans les Grands Lacs*. Windsor, Ontario. 59 p.

U.S. Environmental Protection Agency. 1994. *Assessment and Remediation of Contaminated Sediments (ARCS) Program: Final Summary Report*. Chicago, Illinois. 48 p.

Wisconsin Department of Natural Resources. 1993. *Lower Green Bay Remedial Action Plan 1993 Update*. Madison, Wisconsin. 241 p.

Wisconsin Department of Natural Resources. 1995. *The Fox River Coalition*. Madison, Wisconsin. 24 p.

6.4 MEMBRES DU COMITÉ CONSULTATIF DE L'ANNEXE 2

Alice Chamberlin
Commissioner, U.S. Section
International Joint Commission
1250 23rd Street N.W., Suite 100
Washington, DC 20440

Gordon W. Walker, c.r.
Commissaire, section canadienne
Commission mixte internationale
100, rue Metcalfe, 18e étage
Ottawa (Ontario) K1P 5M1

Dr. Harold J. Day
College of Environmental Science
University of Wisconsin-Green Bay
2420 Nicolet Drive
Green Bay, Wisconsin 54311-7001

Doug McTavish
Directeur
Bureau régional des Grands Lacs
Commission mixte internationale
100, avenue Ouellette, 8e étage
Windsor (Ontario) N9A 6T3

Ms. Susan Sylvester
Wisconsin Dept. of Natural Resources
Administrator, AD/5
Division of Environmental Quality
101 S. Webster St.
P.O. Box 7921
Madison, Wisconsin 53707-7921

E.T. Wagner, ing.
Directeur
Ressources en air et en eau
Fiducie de régénération du secteur riverain
207, rue Queen's Quay ouest,
bureau 580
Toronto (Ontario) M5J 1A7

Coordonnateurs du personnel

Murray Clamen
Commission mixte internationale
Section canadienne
100, rue Metcalfe, 18e étage
Ottawa (Ontario) K1P 5M1

James Chandler
International Joint Commission
United States Section
1250 23rd Street N.W., Suite 100
Washington, D.C. 20440

Bruce Kirschner
Commission mixte internationale
Bureau régional des Grands Lacs
100, avenue Ouellette, 8e étage
Windsor (Ontario) N9A 6T3